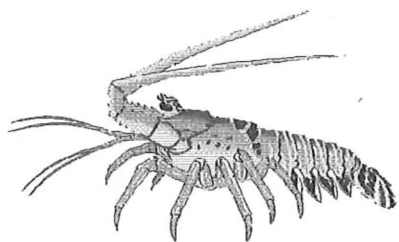


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



"ADAPTACIONES FISIOLÓGICAS DE LA "LANGOSTA ROJA" *Panulirus interruptus* PARA SOBREVIVIR FUERA DEL AGUA EN RELACIÓN AL TIEMPO Y TEMPERATURA DE EXPOSICIÓN AÉREA"



T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
O C E A N O L O G O

PRESENTA:
DANIEL ORTIZ VIVEROS

ENSENADA, B C., ABRIL DE 1996.

RESUMEN

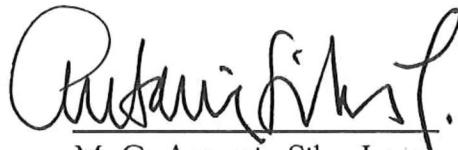
En el presente trabajo se plantea establecer las adaptaciones fisiológicas que ayuden a desarrollar las bases biotecnológicas que permitan el transporte en vivo de la "langosta roja" *Panulirus interruptus*. Como indicadores fisiológicos se utilizó: la variación en la tasa metabólica ($QO_2 = \text{ml } O_2/\text{g de peso húmedo/h}$) ante cambios de las condiciones ambientales y la excreción de amonio molecular ($\text{mg } NH_3/\text{g de peso húmedo/h}$). Al someter a *P. interruptus* a cambios de temperatura, se obtuvo una respuesta metabólica influenciada por la temperatura del agua. Lo que se interpretó como una subcompensación termal ante cambios de temperatura inmediatos en temperaturas altas, y una sobrecompensación en la zona donde se comienza la compensación. Después de la exposición aérea, se encontró que *P. interruptus* presentó una deuda de oxígeno y una acumulación de amonio, que dependieron de la temperatura de exposición. El regreso a las condiciones iniciales estuvo en función de la temperatura y del tiempo posterior a la reinmersión. Así mismo se encontró que *P. interruptus* fue incapaz de mantener una extracción de oxígeno adecuada, cuando las condiciones de oxígeno ambiental disminuyeron dentro y fuera del agua. Comparando los cambios metabólicos de *P. interruptus* al variar la temperatura dentro y fuera del agua se obtuvo que el mayor cambio se dio dentro del agua; presentando valores de Q_{10} superiores a los presentes fuera del agua. Esta comparación nos indica que fuera del agua el cambio metabólico no corresponde con el cambio en temperatura.

"ADAPTACIONES FISIOLÓGICAS DE LA "LANGOSTA ROJA" *Panulirus interruptus* PARA SOBREVIVIR FUERA DEL AGUA EN RELACIÓN AL TIEMPO Y TEMPERATURA DE EXPOSICIÓN AÉREA"

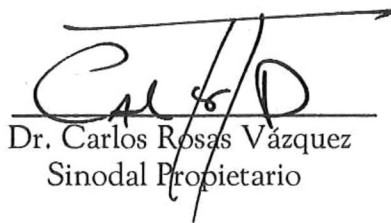
T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
O C E A N O L O G O

PRESENTA:
DANIEL ORTIZ VIVEROS

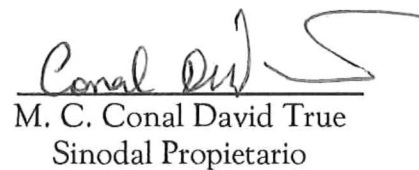
Aprobada por :



M. C. Antonio Silva Loera
Presidente del jurado.



Dr. Carlos Rosas Vázquez
Sinodal Propietario



M. C. Conal David True
Sinodal Propietario

DEDICATORIA

A mis padres Rubén Estéban Ortiz Cabrera y Socorro Viveros de Ortiz, les dedico el esfuerzo empleado en la realización de este trabajo, y les doy mi agradecimiento de por vida, porque ustedes me han hecho lo que soy. Gracias a ustedes hoy puedo distinguir entre el bien y el mal, entre el amor y la amistad, entre el triunfo y la derrota, pero sobre todo puedo apreciar a los mejores padres del Mundo. Papá y Mamá gracias por su mejor herencia, mi educación.

A mis Hermanos Arturo y Gaby, gracias por su cariño y apoyo, que a la distancia se vuelven tan importantes porque no creo haber podido aguantar sin ustedes, también gracias por guardarme siempre un lugar en sus corazones.

A mi Primo Alejandro Baez "Alex", porque a pesar de todo tus sueños siempre fueron grandes.

A Mónica por tu apoyo durante la época más difícil de la carrera.

A mis viejos y nuevos amigos en todos lados, porque su apoyo siempre será importante en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de tesis se realizó gracias al apoyo brindado por la Universidad Autónoma de Baja California a través de la Facultad de Ciencias Marinas, por Pensabene Internacional S.A. de C.V. y por la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera Punta Abreojos.

Agradezco a todos los Maestros de la Facultad de Ciencias Marinas porque con sus enseñanzas y ejemplo han hecho de mi un profesionista.

Mi más sincero agradecimiento al M.C. Antonio Silva Loera ya que antes y después de ser mi director de tesis fue y será un gran apoyo y amigo. Porque con sus consejos y constantes palabras de aliento despertó en mi el deseo de investigar siempre más.

Un especial agradecimiento a mis sinodales: Dr. Carlos Rosas Vázquez y M.C. Conal David True, por ser tan buenos amigos y porque con ustedes aprendí lo que es el verdadero trabajo de laboratorio, y gracias a sus consejos y enseñanzas me siento capaz de enfrentar cualquier trabajo relacionado con la investigación fisiológica. También porque cada uno de ustedes ya sea en Campeche o en Ensenada supo apoyarme y estar ahí cuando más lo necesitaba.

Un agradecimiento muy especial a "los chavos" mis hermanos adoptivos: Cuauhtémoc Turrent Thompson, Diego Edgar García Gómez, J. Jesús Morales de los Santos, Héctor Lazcano Venegas y Gerardo García Silva; porque con ustedes aprendí lo más importante de la carrera "El significado de la amistad", gracias también por compartir conmigo los momentos de alegría y tristeza de la carrera y por siempre estar en el momento indicado.

Agradezco a todos los "Snorkels" su apoyo y amistad durante estos años de estudio, recuerden "El que quiere puede".

Al Oc. Norberto Castro Castro "Quinini" por toda la ayuda brindada en la realización de este trabajo y por compartir conmigo tu amistad y experiencia.

Quiero agradecer a todos los compañeros que trabajaron conmigo antes, durante y después de los experimentos, porque sin ustedes no existiría este trabajo, gracias: Gabriela Batalla, Bernardo, Diego Bernal y Olga.

Al Oc. Mario Roberto Ramade Villanueva por su apoyo para conseguir las langostas y a todos los pescadores de Punta Abreojos gracias.

A la gente de Ensenada por dejarme vivir en sus casas.

ÍNDICE

	página
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	
1.2. Objetivos	
2. MATERIALES Y MÉTODOS	5
2.1. Obtención y mantenimiento de los organismos de estudio	
2.2. Experimentos preliminares y características del equipo empleado	
2.3. Preparación de las langostas para los experimentos	
2.4. Determinación del cambio en la tasa metabólica (QO_2) ocasionado por la disminución de la temperatura del agua	
2.5. Exposición aérea y empaçado	
2.6. Determinación de la tasa metabólica (QO_2) y excreción de amonio en forma molecular (NH_3) posteriores a la exposición aérea	
2.7. Determinación de la tasa metabólica fuera del agua	
2.8. Determinación de la tensión parcial crítica de oxígeno (P_C)	
2.9. Determinación del Q_{10} para las diferencias de temperatura de cada experimento	
2.10. Análisis estadístico	
3. RESULTADOS	19
3.1. Preliminares	
3.2. Variación metabólica durante el enfriado	
3.3. Tasa metabólica (QO_2) posterior a la exposición aérea	
3.4. Excreción de amonio molecular (NH_3) posterior a la exposición aérea	
3.5. Tasa metabólica (QO_2) fuera del agua	
3.6. Determinación de la tensión parcial crítica de oxígeno (P_C)	
3.7. Determinación de los valores de Q_{10} para los experimentos a diferentes temperaturas	
4. DISCUSIONES	33
4.1. Cambios de temperatura y su influencia sobre el metabolismo	
4.2. Comportamiento ante la exposición aérea	
4.3. Importancia de la cantidad de oxígeno dentro y fuera del agua	
5. CONCLUSIONES	47
6. LITERATURA CITADA	49

LISTA DE TABLAS

		página
Tabla I	ANdeVA de una vía del efecto de la temperatura (de 17 a 5 °C) sobre la tasa metabólica (QO_2) de <i>Panulirus interruptus</i> .	21
Tabla II	ANdeVA de tres vías de la (1) temperatura (5, 10 y 18 °C), el (2) tiempo de exposición aérea (24 y 48 horas) y el (3) tiempo de medición (0, 75, 149, 250 y 351 minutos) sobre la tasa metabólica (QO_2) de <i>Panulirus interruptus</i> .	23
Tabla III	ANdeVA de tres vías de la (1) temperatura (5, 10 y 18 °C), el (2) tiempo de exposición aérea (24 y 48 horas) y el (3) tiempo de medición (0, 75, 149 y 250 minutos) sobre la excreción de amonio molecular (NH_3) de <i>Panulirus interruptus</i> .	24
Tabla IV	Valores de la tasa metabólica (QO_2) de <i>Panulirus interruptus</i> fuera del agua en atmósferas de aire y oxígeno a 20 y 13.5° C.	26
Tabla V	ANdeVA de dos vías del efecto de la exposición aérea sobre el consumo de oxígeno de <i>Panulirus interruptus</i> en (1) dos ambientes distintos (aire y oxígeno) y (2) temperaturas de 20 y 13.5 °C.	27
Tabla VI	Matriz del Q_{10} de <i>Panulirus interruptus</i> , considerando los valores promedio de QO_2 de cada temperatura.	31
Tabla VII	Q_{10} de la tasa metabólica (QO_2) de <i>Panulirus interruptus</i> posteriores a la exposición aérea.	31
Tabla VIII	Q_{10} de los valores promedio de la tasa metabólica (QO_2) de <i>Panulirus interruptus</i> fuera del agua en ambientes de aire y oxígeno.	32

LISTA DE FIGURAS

		página
Figura 1	Registro de la variación de la temperatura interna de <i>Panulirus interruptus</i> al variar la temperatura externa.	7
Figura 2	Cámara respiratoria diseñada para estimar la tasa metabólica y excreción de amonio molecular (NH ₃) de <i>Panulirus interruptus</i> en el agua a distintas temperaturas.	8
Figura 3	Respirómetro diseñado para determinar la tasa metabólica de <i>Panulirus interruptus</i> fuera del agua.	9
Figura 4	Sistema térmico empleado para aumentar y disminuir la temperatura durante los experimentos.	10
Figura 5	Variación de la temperatura interna (abdomen y cefalotórax) de <i>Panulirus interruptus</i> al aumentar la temperatura externa.	20
Figura 6	Variación de la temperatura interna (abdomen y cefalotórax) de <i>Panulirus interruptus</i> al disminuir la temperatura externa.	20
Figura 7	Tasa metabólica (mlO ₂ /g de peso húmedo/h) de <i>Panulirus interruptus</i> al disminuir la temperatura del agua, las barras verticales corresponden a la desviación estándar.	22
Figura 8	Variación promedio de la tasa metabólica (mlO ₂ /g de peso húmedo/h) de <i>Panulirus interruptus</i> en el tiempo ante variaciones de temperatura y duración de la exposición aérea.	22
Figura 9	Variación promedio del amonio (NH ₃) excretado por <i>Panulirus interruptus</i> en función del tiempo al ser sometida a cambios de temperatura y exposición aérea.	25
Figura 10	Tasa metabólica (mlO ₂ /g de peso húmedo/h) de <i>Panulirus interruptus</i> al variar la tensión parcial de oxígeno en el agua a 18 °C.	29

Figura 11 Tasa metabólica (mlO₂/g de peso húmedo/h) de *Panulirus interruptus* al variar la tensión parcial de oxígeno en el agua a 10 °C.

29

1.- INTRODUCCIÓN

En la actualidad la venta de productos marinos se ha diversificado, tanto en especies como en productos, lo que ha obligado a pescadores y comerciantes a buscar nuevas tecnologías para presentar sus productos. Un ejemplo de esto es la langosta que últimamente se ha comenzado a exportar de manera viva, lo que representa una mayor ganancia para los exportadores y pescadores pues el precio del producto vivo en ocasiones es más del doble. En el caso de la "langosta roja" *Panulirus interruptus* no se cuenta con la tecnología para su transporte en vivo, por lo que se han venido utilizando adaptaciones a las técnicas establecidas para otras especies como *Homarus americanus* y *P. argus*.

Con el nombre genérico de langosta se conoce a los miembros de 4 familias de decápodos: Homaridae, Nephropsidae, Palinuridae y Scylaridae. Aunque se aplica propiamente a las especies de las familias Palinuridae y Homaridae (Gracia y Kensler, 1980). En México y en muchos otros países, las primeras se conocen también como langostas espinosas, y las segundas se conocen en Estados Unidos de Norteamérica como langostas americanas o bogavantes en Europa. La diferencia principal es que las últimas cuentan con un par de quelas en lugar del primer par de apéndices ambulacráles (pereiópodos).

En México existen principalmente 7 especies de langostas espinosas, que pertenecen al género *Panulirus* Gray (1847), y habitan en aguas tropicales y subtropicales de las costas del país; de éstas, cuatro se presentan en el Océano Pacífico (*Panulirus interruptus*, *P. gracilis*, *P. inflatus* y *P. penicillatus*), y tres en el Golfo de México y el Mar Caribe (*P. argus*, *P. guttatus* y *P. laevicauda*) (Briones-Fourzán, 1995).

Las langostas desarrollan la mayoría de sus actividades en la noche, permaneciendo ocultas durante el día en oquedades que les brindan protección de sus enemigos naturales. Estos lugares pueden ser: cuevas; grietas entre las rocas y el coral, amontonamientos de rocas y lechos de algas marinas; de los que salen al anochecer en busca de alimento (Gracia y Kensler, 1980).

La langosta es un producto muy bien cotizado en el mercado nacional e internacional, su pesquería constituye una actividad económica muy importante, sobre todo en la parte noroeste de nuestro país, en donde la "langosta roja" (*P. interruptus*) es abundante y por lo tanto existe un mayor número de pescadores dedicados a su explotación (Gracia y Kensler, 1980). En los últimos años la captura de la langosta del Caribe (*P. argus*) ha mostrado un aumento considerable, llegando en 1992 en Quintana Roo y Yucatán al 17 y 12 % respectivamente del total de langosta capturado en el país. En el noroeste ese mismo año Baja California Sur aportó el 47 % del total nacional, colocándose en el primer lugar en producción, dejando a Baja California con el 14 % del total nacional. A nivel nacional en la producción pesquera de crustáceos del país, la langosta ocupó el tercer lugar en 1992 con 2029 toneladas métricas, después del camarón y la jaiba (Secretaría de Pesca, 1993).

La langosta *P. interruptus* se distribuye del centro de California, USA; hasta cabo San Lucas, Baja California Sur, México; usualmente habita de los 2 a los 30 metros de profundidad y ocasionalmente se le encuentra hasta los 70 metros (Austin, 1988). Es la principal especie de langosta en cuanto a captura comercial en la zona noroeste del país, presenta características que la hacen apta para el mercado de exportación, ya que es muy resistente al manejo y después de ser sacada del agua mantiene unidos el cefalotórax y el abdomen (Gracia y Kensler, 1980).

1.1 Antecedentes.

Muchos crustáceos marinos poseen características morfológicas y fisiológicas que les permiten sobrevivir durante periodos de emersión, provocados por la marea baja (Burnett, 1988; y Hagerman y Vismann, 1995). Estas adaptaciones han sido investigadas extensivamente en crustáceos intermareales pero, se ha puesto menor atención al estudio del efecto de la exposición aérea en la fisiología de especies de crustáceos sublitorales (Spincer *et al.*, 1990). Al respecto se han realizado algunos trabajos con langostas: Thomas (1954), trabajó con la langosta *Homarus vulgaris*; McLeese (1965), con *Homarus americanus*; Vermeer (1987), con *Panulirus argus*; Spincer *et al.*, (1990), con *Nephrops norvegicus*; y Kaleemur y Srikirshnadas (1994), con *Panulirus homarus*, *P. ornatus* y *P. polyphagus*. Sin embargo, no se encontró ningún trabajo sobre este tema en la langosta *P. interruptus*.

Al respecto Kaleemur y Srikirshnadas, (1994) mencionaron que las langostas espinosas presentan una adaptación fisiológica que les permite sobrevivir fuera del agua un par de horas en ambientes húmedos o por muchas horas (hasta 96) a bajas temperaturas.

Las investigaciones sobre los aspectos fisioecológicos de las especies marinas de interés comercial son muy importantes, ya que algunos problemas relacionados con sus pesquerías se podrán resolver total o parcialmente sobre bases fisiológicas (Alvarez y Días, 1971, citados por Alvez y Mota, 1980). Abundando sobre esta premisa McLeese (1965), propuso que la venta exitosa de la langosta *Homarus americanus* puede mejorar, asegurando el conocimiento de los hechos que les permiten sobrevivir fuera del agua. El mismo concepto se puede aplicar para el caso de *P. interruptus*, con lo que se beneficiarán pescadores e intermediarios, dedicados a la venta de langostas.

1.2 Objetivos.

GENERAL:

Conocer las adaptaciones fisiológicas de la "langosta roja" *Panulirus interruptus* para sobrevivir fuera del agua.

PARTICULARES:

- ◆ Evaluar la variación metabólica de *P. interruptus*, al ser sometida a diferentes temperaturas.
- ◆ Evaluar la deuda de oxígeno de *P. interruptus*, posterior a la exposición aérea en diferentes tiempos y temperaturas.
- ◆ Evaluar la acumulación de amonio de *P. interruptus*, en relación a la temperatura y tiempo de exposición aérea.
- ◆ Investigar el efecto de condiciones distintas de exposición aérea sobre el metabolismo de *P. interruptus*.
- ◆ Determinar la tensión parcial crítica de oxígeno para *P. interruptus* en distintas temperaturas.

2.- MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Obtención y mantenimiento de los organismos de estudio.

Las langostas utilizadas en los experimentos se capturaron en el campo pesquero de la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera Punta Abre Ojos, Baja California Sur. Como arte de pesca se utilizaron jaulas de alambre, con trozos de pescado como carnada. Una vez en la embarcación se colocó a las langostas en 2 hieleras de plástico (20 langostas por hielera), y se separaron con costales de ixtle remojados con agua de mar para mantener una humedad relativa alta. El transporte al laboratorio de acuicultura de la Facultad de Ciencias Marinas se llevó a cabo por tierra y tuvo una duración de 12 horas, la temperatura durante el transporte se mantuvo alrededor de los 10 °C mediante el uso de paquetes de gel congelado (Blue ice). Una vez en el laboratorio se transfirieron a tanques circulares de mantenimiento (1.3 x 0.4 metros) con capacidad de 500 l. La temperatura en los tanques al momento de la introducción fue de 15 °C. Cada tanque contaba con aireación constante y flujo de agua de mar filtrada. En los tanques se colocaron cubiertas de plástico opaco color negro, con esto se procuró evitar el posible estrés de las langostas, provocado por el exceso de luz y contacto visual humano. En cada tanque se colocaron 20 langostas y tramos pequeños (20-30 centímetros) de tubería ABS de 8 pulgadas para proveer de algunos refugios artificiales a las langostas, según Winkler (1987).

Durante el cautiverio se alimentó a las langostas con calamar, suministrado por las tardes o noches, ya que es cuando presentan su mayor actividad (Gracia y Kensler, 1980).

La temperatura del agua durante el tiempo que se mantuvo a las langostas en el laboratorio aumentó de 15 °C en enero a 20 °C en junio. La salinidad fue de 33‰ durante todo el período experimental.

2.2 Experimentos preliminares y características del equipo empleado.

Se realizó un experimento para determinar la razón de enfriado y calentamiento del organismo en relación a la variación de la temperatura externa. Se tomó una langosta y se sacrificó para colocarle 2 termómetros en el interior, uno en el abdomen y otro en el cefalotórax (Figura 1). También se contó con otro termómetro en el exterior para registrar la temperatura del agua durante la prueba, posteriormente se varió la temperatura del agua, de 17 a 10 °C para el enfriado, y de 16.5 a 22.5 °C para el calentamiento.

Para determinar el metabolismo específico con base en el consumo de oxígeno (QO_2), dentro del agua se emplearon 3 cámaras respiratorias, fabricadas con vidrio (44 x 19 x 15 cm) y forradas de plástico opaco color negro, en la tapa se colocó unicel como material aislante y un orificio para introducir el electrodo polarográfico (ORION modelo 97-08) o la manguera para el flujo de agua, para los recambios y el flujo de agua se colocó un drenaje en la parte inferior de las cámaras, y para mantener una circulación y mezcla homogénea en el interior de las cámaras se emplearon pastillas magnéticas (Figura 2).

Para la determinación de la QO_2 fuera del agua se diseñó un respirómetro, fabricado con tubo PVC de 10 pulgadas de diámetro y 40 cm de longitud. El aparato consistió en dos cámaras independientes, una de ellas "la de compensación" se selló de los extremos y se le hicieron orificios para el drenaje, la entrada de aire, agua u

oxígeno; el termómetro y el manómetro. La segunda se selló únicamente de un lado, dejando el otro móvil para introducir al organismo, además se colocó una ventana de vidrio para observar el comportamiento de la langosta y una entrada para el dispositivo que contenía al hidróxido de potasio (encargado de captar el CO_2 liberado por la langosta), también se le hicieron los mismos orificios que a la primera (Figura 3). El manómetro que conectaba a las dos cámaras se fabricó con tubo de vidrio.

Para las variaciones de la temperatura del agua en los experimentos se usó un intercambiador de calor (Aquanetics Systems, modelo AHP-4), conectado a una cuba y a un tanque térmico, que mantenían un gran volumen de agua a la temperatura deseada (Figura 4).

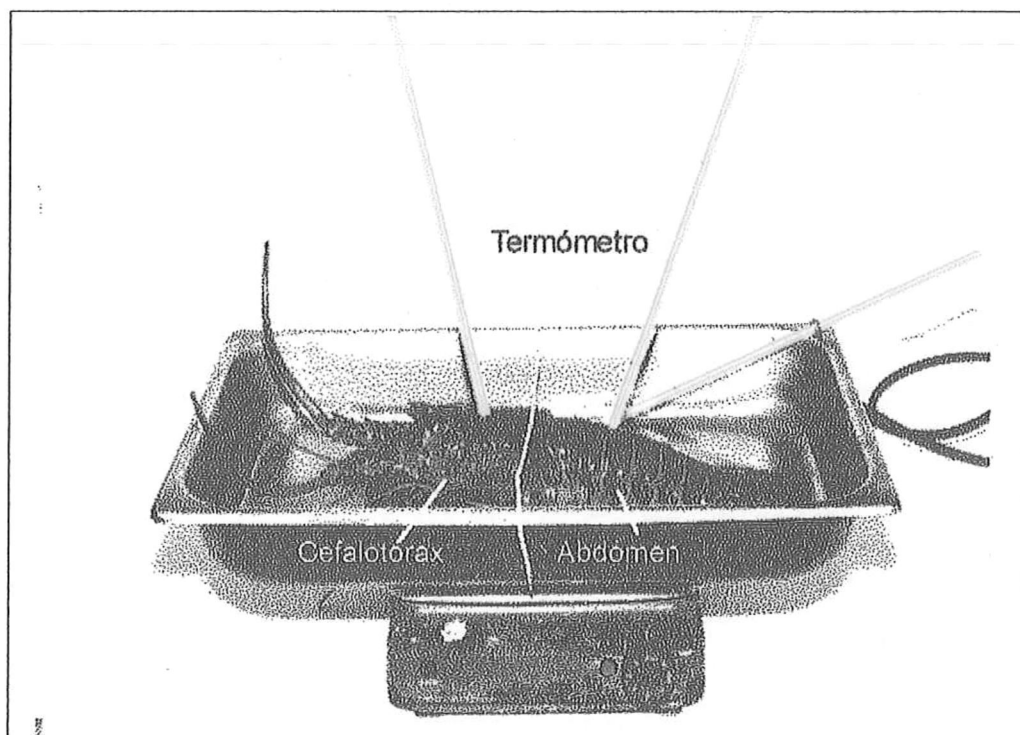


Figura 1.- Registro de la variación de la temperatura interna de *Panulirus interruptus* al variar la temperatura externa.

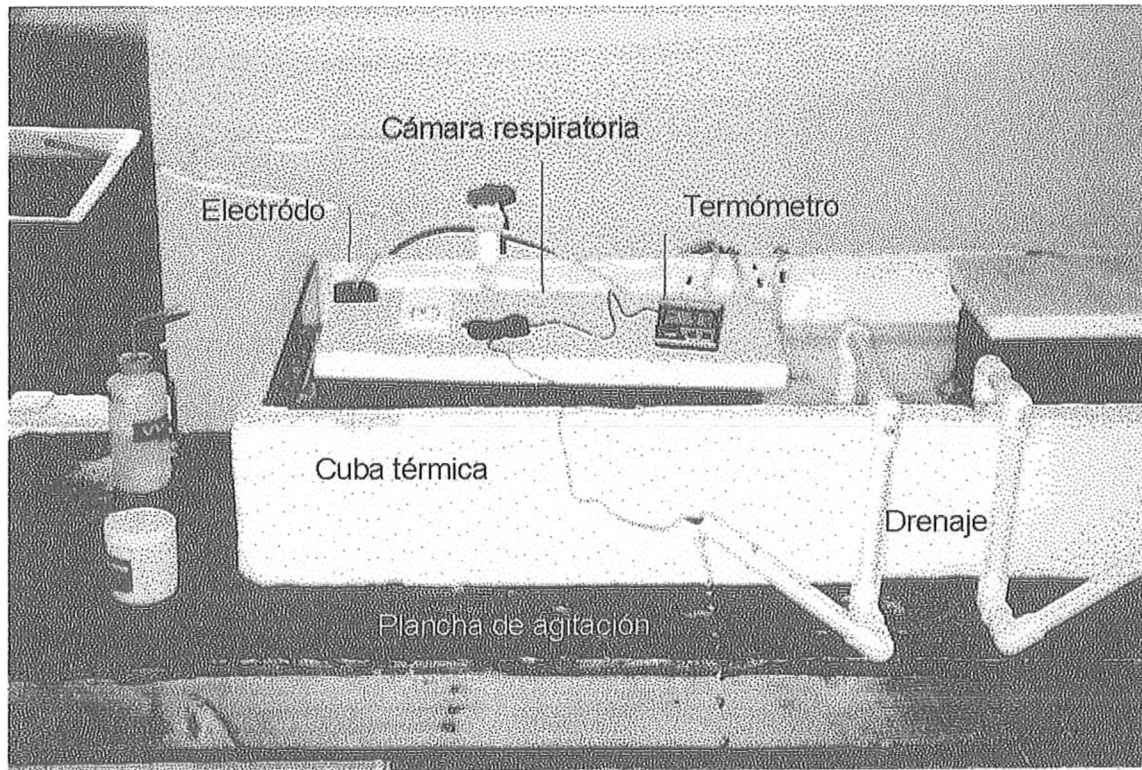


Figura 2.- Cámara respiratoria diseñada para estimar la tasa metabólica y la excreción de amonio molecular (NH_3) de *Panulirus interruptus* en el agua a distintas temperaturas.

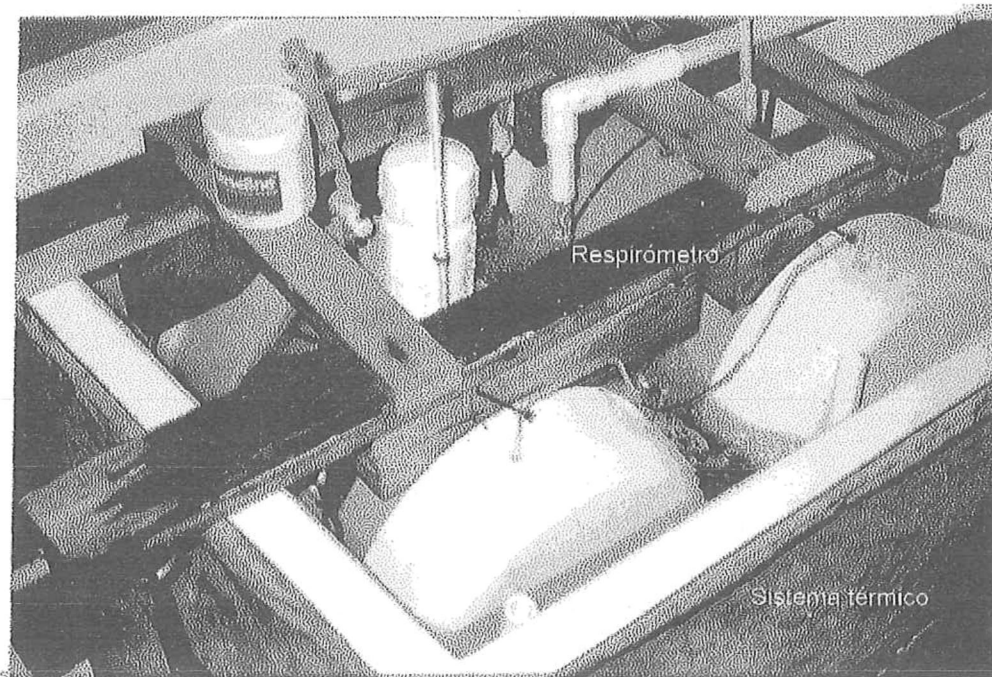


Figura 3.- Respirómetro diseñado para determinar la tasa metabólica de *Panulirus interruptus* fuera del agua.

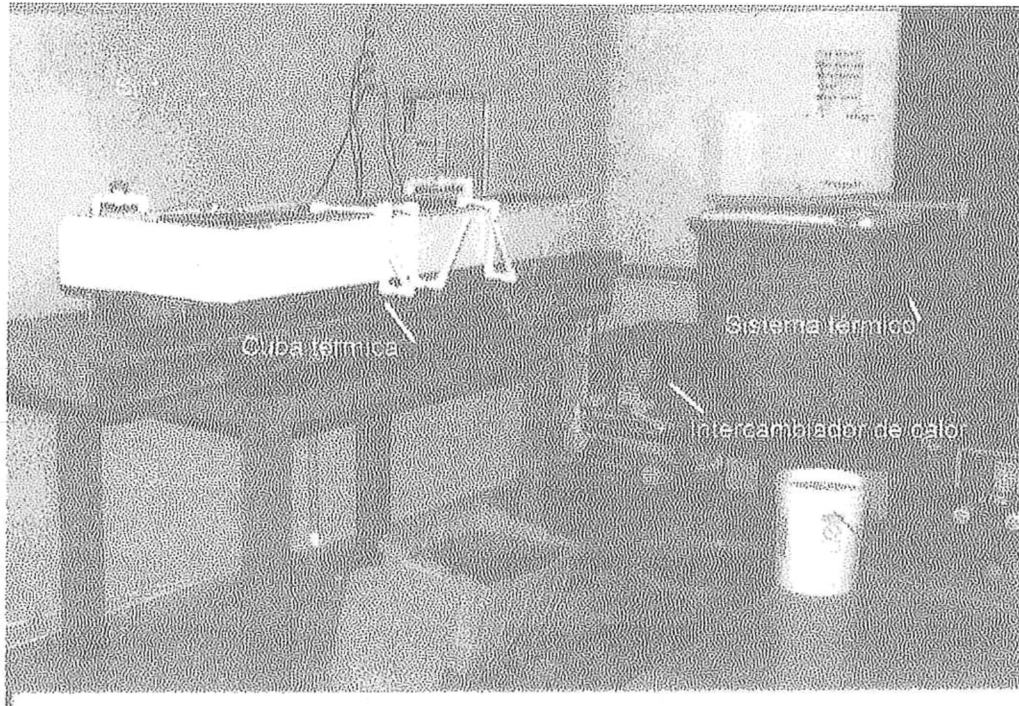


Figura 4.- Sistema térmico empleado para aumentar y disminuir la temperatura durante los experimentos

2.3 Preparación de las Langostas para los experimentos.

Antes de cada experimento se tomaron al azar el número de organismos requeridos y se colocaron en un tanque circular, similar a los de mantenimiento. Se les suspendió la alimentación 4 ó 5 días antes de ser usadas en los experimentos, esto se realizó con el propósito de eliminar la alteración del metabolismo debida al proceso de digestión y asimilación del alimento (Acción Dinámica Específica) (Prosser, 1950).

Las langostas usadas en los experimentos se encontraban en estadio de intermuda, y no se hizo distinción entre machos y hembras. Antes de utilizar a las langostas en cualquier experimento se les inmovilizó el abdomen con cinta adhesiva, para facilitar su manejo y evitar lesiones al personal.

Todos los experimentos se iniciaron a las 09:00 horas y se terminaron a las 18:00 horas o antes, a excepción de los experimentos de tensión parcial crítica (Pc), que terminaron en algunos casos en la noche y los de enfriado que se desarrollaron a partir de las 18:00 horas.

Las langostas que se usaron para los experimentos de temperatura inferior a la ambiental, se colocaron en la cuba térmica y con la ayuda del intercambiador de calor se les bajó la temperatura hasta conseguir la deseada. Se calculó que siempre se terminara el enfriado a las 09:00 horas.

2.4 Determinación del cambio en la tasa metabólica (QO_2) ocasionado por la disminución de la temperatura del agua.

Durante el enfriado de las langostas que se usaron para el experimento de exposición aérea a 5 °C se registró el consumo de oxígeno de tres de las nueve langostas. Los organismos se colocaron en las cámaras respiratorias (uno por cámara) y se les dejó una circulación continua de agua para que el enfriado fuera igual que el de las demás, sólo durante las mediciones se cerró el flujo.

La QO_2 se determinó con base en el volumen de oxígeno consumido (ml) por gramo de langosta en un tiempo dado (h), y se obtuvo de la siguiente ecuación.

$$QO_2 = \left[\left(\frac{PPM}{t} \right) * (60) * \left(\frac{1}{\rho} \right) * (V) \right] / [P]$$

en donde :

PPM = Partes por millón de oxígeno (diferencia entre las medidas de oxígeno disuelto).

t = Tiempo de medición (min).

ρ = Densidad del oxígeno (1.4290 g/l).

P = Peso de la langosta (g de peso húmedo).

V = Volumen de la cámara menos lo desplazado por la langosta (l).

QO_2 = Tasa metabólica (ml O_2 /g de peso húmedo/h).

2.5 Exposición Aérea y Empacado.

Se consideró un diseño experimental de 3 temperaturas: 5, 10 y 18 °C, por 3 tiempos de exposición aérea diferentes: 24, 48 y 72 horas. En cada una de las 9

condiciones se utilizaron 3 organismos a manera de réplicas. La permanencia del organismo fuera del agua se consideró como la exposición aérea.

Para la exposición aérea se utilizaron hieleras de unicel, con plataformas de madera en el interior para acomodar a las langostas. Con el propósito de asegurar una humedad relativa alta se colocaron pedazos de papel mojados en agua de mar. Las temperaturas antes mencionadas se lograron con paquetes de gel congelado (blue ice) en el interior de las hieleras y la temperatura interna se registró con un termómetro digital con sensor externo y precisión de 0.1 °C (marca VWR).

Al terminar el tiempo de exposición aérea de cada temperatura, se regresó a los organismos al agua para determinar el efecto provocado por la exposición aérea sobre el QO_2 y sobre la excreción de amonio. La temperatura del agua dentro de las cámaras fue igual a la de exposición aérea y así se mantuvo durante todo el período de medición, de tal manera se aseguró que las langostas mantuvieran la misma temperatura fuera y dentro del agua.

2.6 Determinación de la tasa metabólica (QO_2) y excreción de amonio en forma molecular (NH_3) posteriores a la exposición aérea.

Al transcurrir el tiempo de exposición aérea seleccionado (24, 48 ó 72 horas), se tomaron 3 langostas al azar de la temperatura con que se trabajó (5, 10 ó 18 °C), y se colocaron en las cámaras respiratorias (una langosta por cámara). Antes de introducir a las langostas se llenaron las cámaras con agua de mar, una vez dentro se suspendió el flujo de agua para evitar en lo posible que se perdiera el amonio excretado durante el tiempo de preparación y sellado de las cámaras. El sellado de las cámaras se logró colocando vaselina (petrolato puro) en la unión de la tapa con las paredes, una vez selladas se colocaron los electrodos y se comenzaron los registros del

oxígeno disuelto. Al terminar el primer tiempo de medición, que por lo general duraba 40 ó 50 minutos, se sacaron los electrodos y se tomaron las muestras de agua para la determinación de amonio. Posteriormente se inició el flujo de agua y se suspendió después de 30 minutos en el caso del primer y segundo flujo, y para el tercero y cuarto flujo el tiempo de duración fue de 60 minutos. Después de cada periodo de flujo se vaciaron las cámaras y se volvieron a llenar, para asegurar la eliminación de cualquier residuo de amonio y para restaurar la tensión parcial de oxígeno. El flujo de agua fue de 0.75 l/min, equivalente a cambiar 4 veces la cantidad de agua de la cámara en una hora. Al realizar las mediciones de consumo de oxígeno, no se dejó que el valor del oxígeno disuelto fuera inferior al 70 % del valor de saturación, esto para evitar que la tensión parcial actuara como un factor magnificador del efecto de la exposición.

Al finalizar cada experimento se realizó la determinación de: sexo, peso, largo del cefalotórax, volumen desplazado y estadio de muda.

El cálculo de la QO_2 se realizó con la fórmula planteada en la sección 2.4 y la determinación de amonio se realizó siguiendo el procedimiento descrito en el manual del electrodo de gas amonio (ORION, modelo 95-12).

Todas las muestras de amonio se ajustaron con un control, correspondiente a una muestra de agua tomada de las cámaras antes de introducir a las langostas.

Para calcular la QO_2 y la excreción de amonio (NH_3), se restó el volumen de agua desplazado por la langosta del total del volumen de la cámara.

2.7 Determinación de la tasa metabólica fuera del agua.

Se diseñó un experimento con 2 temperaturas de exposición (13.5 y 20 °C) y dos atmósferas diferentes (aire y oxígeno puro), en cada condición se emplearon 3 langostas a manera de réplicas.

Para conseguir la temperatura deseada se colocó el respirómetro en un tanque térmico, conectado al intercambiador de calor (Figura 4). Antes de realizar las mediciones se colocó la langosta dentro de la cámara y se dejó con un flujo de agua de mar a la misma temperatura de la prueba durante una hora. Al terminar este periodo se vaciaron las cámaras mediante la inyección de aire u oxígeno (según fuera el caso a medir) a la misma temperatura del experimento. Posteriormente se colocaron los termómetros, el manómetro, se cerraron los drenajes, y se introdujo la canastilla con la solución de Hidróxido de Potasio (KOH) a saturación, una vez sellado se dejó un tiempo para hacer el registro del consumo de oxígeno. Este se llevó a cabo mediante la inyección de oxígeno a la cámara donde se encontraba la langosta y al regresar el manómetro a su posición original se suspendía la inyección.

Al terminar la medición se sacó la langosta y se determinó su peso, largo de cefalotórax, sexo, volumen desplazado y estadio de muda.

Con el valor del volumen de oxígeno inyectado (ml), el peso de la langosta (g), y el tiempo transcurrido (h) se determinó el consumo de oxígeno (mlO_2/g de peso húmedo/h).

$$QO_2 = \left[\left(\frac{V}{t} \right) * 60 \right] / (P)$$

en donde:

QO_2 = Tasa metabólica (mlO₂/g de peso húmedo/h).

t = Tiempo de medición (min).

P = Peso de la langosta (g de peso húmedo).

V = Volumen de oxígeno inyectado (ml).

2.8 Determinación de la tensión parcial crítica de oxígeno (P_c).

Se diseñó un experimento para determinar la P_c de las langostas en 18 y 10 °C, en cada prueba se emplearon 3 langostas a manera de réplica.

La determinación de la P_c se realizó utilizando la diferencia en el consumo de oxígeno ocasionada por la disminución de oxígeno en el agua. Para esto se colocaron las langostas en las cámaras respiratorias a la temperatura deseada, y se dejaron con flujo de agua durante 1 hora, posteriormente se sellaron las cámaras y se comenzó el registro de la cantidad de oxígeno disuelto, los registros se hicieron cada 15 minutos hasta que el oxígeno disuelto fue mínimo.

La QO_2 , se calculó siguiendo la ecuación descrita en la sección 2.4, tomando como las PPM la diferencia entre mediciones contiguas y al tiempo t como 15 minutos.

Para determinar la presión parcial de oxígeno se transformó la cantidad de oxígeno disuelto a milímetros de mercurio (mm Hg) mediante la fórmula:

$$PO_2 = \left[\frac{V}{\alpha} \right] * Pp$$

en donde:

PO_2 = Tensión parcial de Oxígeno medida (mm Hg)

V = Volumen de oxígeno por litro de agua (ml O_2 / l)

α = Solubilidad del oxígeno en agua a 33 ‰ y a la temperatura usada (ml O_2 / l)

Pp = Presión parcial del oxígeno (atmosférico 159.22 mm Hg)

La solubilidad del oxígeno usada para los 10 °C fue de 6.40 ml O_2 /l y para los 18 °C fue de 5.43 ml O_2 /l (Riley, 1989).

2.9 Determinación del Q_{10} para las diferencias de temperatura de cada experimento.

En todos los experimentos en los que se registró la QO_2 a diferentes temperaturas se calculó el Q_{10} mediante la fórmula descrita por Prosser (1950):

$$Q_{10} = \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^{10/T_2 - T_1}$$

en donde.

Q_{10} = Factor de cambio metabólico

R_1 = QO_2 a la temperatura 1

R_2 = QO_2 a la temperatura 2

T_1 = Temperatura 1

T_2 = Temperatura 2

2.10 Análisis estadístico.

Para verificar la normalidad de todos los datos que se usaron para las pruebas estadísticas se realizó la prueba estadística “Kolmogorov-Smirnov”, además en los datos que se usaron para las pruebas de ANDeVA se verificó la homogeneidad de varianzas de “Barlett” y se probó la normalidad de los datos en cada celda utilizada para los análisis. En el caso de encontrarse diferencias significativas en los análisis de varianzas se procedió a realizar la prueba estadística a posteriori de “Honestidad de Tukey”, con la que se pudieron encontrar diferencias específicas (Steel y Torrie, 1988).

Para determinar la existencia de diferencias significativas en los datos de la tasa metabólica dentro del agua después de la exposición aérea y en los de excreción de amonio (NH_3), se realizó un análisis de varianza multivariado de tres vías.

A los datos de la tasa metabólica fuera del agua y a los del cambio metabólico durante el enfriado se les aplicó un ANDeVA de dos y una vía respectivamente.

Todas las pruebas estadísticas se realizaron con el programa STATISTICA 4.5 (STAT Soft).

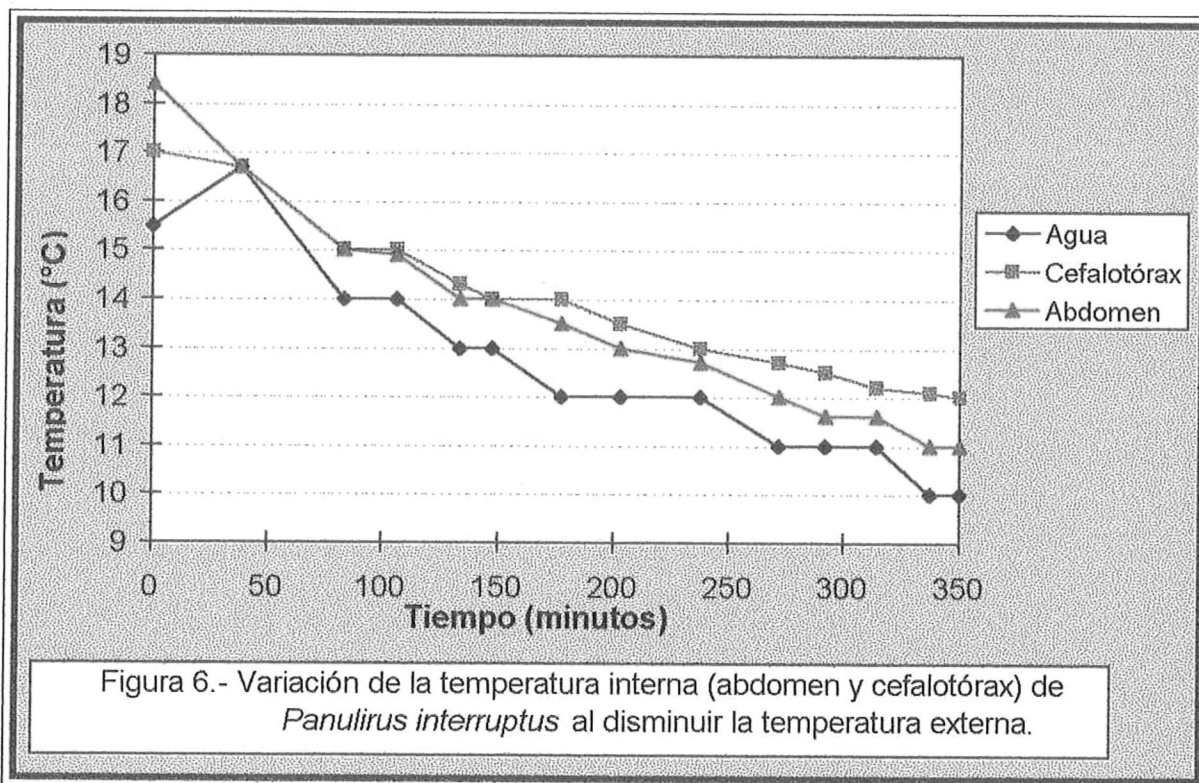
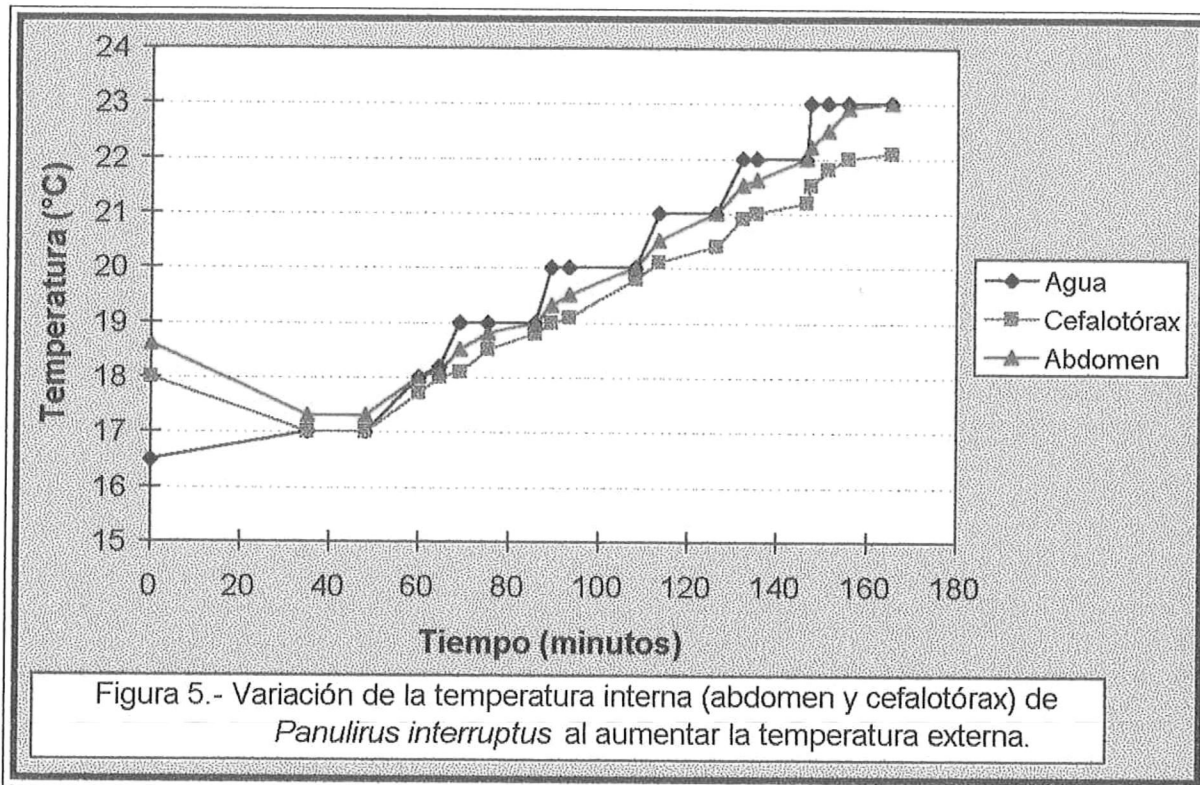
3.- RESULTADOS

3.1 Preliminares.

La variación de la temperatura interna respecto de la variación externa se muestra en las figuras 5 y 6. Con relación al aumento de la temperatura externa, en la figura 5 se muestran los resultados de la variación de la temperatura interna, tanto en el cefalotórax como en el abdomen. La variación interna sigue el aumento de la temperatura externa pero con un retraso de alrededor de 20-25 minutos y la temperatura del cefalotórax siempre presenta una temperatura menor que la del abdomen al tiempo de medición, haciéndose mayor la diferencia conforme aumenta la temperatura. Con relación al descenso de la temperatura externa, en la figura 6 se presentan los resultados de la variación de la temperatura interna, ésta sigue el patrón descendente del exterior pero con un retraso de un grado centígrado. El tiempo que tarda el organismo en alcanzar una temperatura de un grado más que la del agua es muy variable (50-70 minutos); además la temperatura del cefalotórax siempre es mayor que la del abdomen, aumentando la diferencia conforme baja la temperatura.

3.2 Variación metabólica durante el enfriado.

Los valores de la QO_2 durante la disminución de la temperatura en el experimento de enfriado a 5 °C se muestran en la figura 7. Lo más sobresaliente de la figura es la tendencia a disminuir la QO_2 conforme baja la temperatura del agua, siendo más marcada la disminución en las temperaturas altas y menor en las bajas.



Se probó la normalidad y la homogeneidad de los datos y resultaron positivas, y en el análisis de varianza se encontró un efecto significativo ($p < 0.05$) (Tabla 1) provocado por la temperatura. Al realizar el análisis a posteriori (Honestidad de Tukey), se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los valores de la QO_2 a 17 °C y los de 11, 10, 7 y 5 °C.

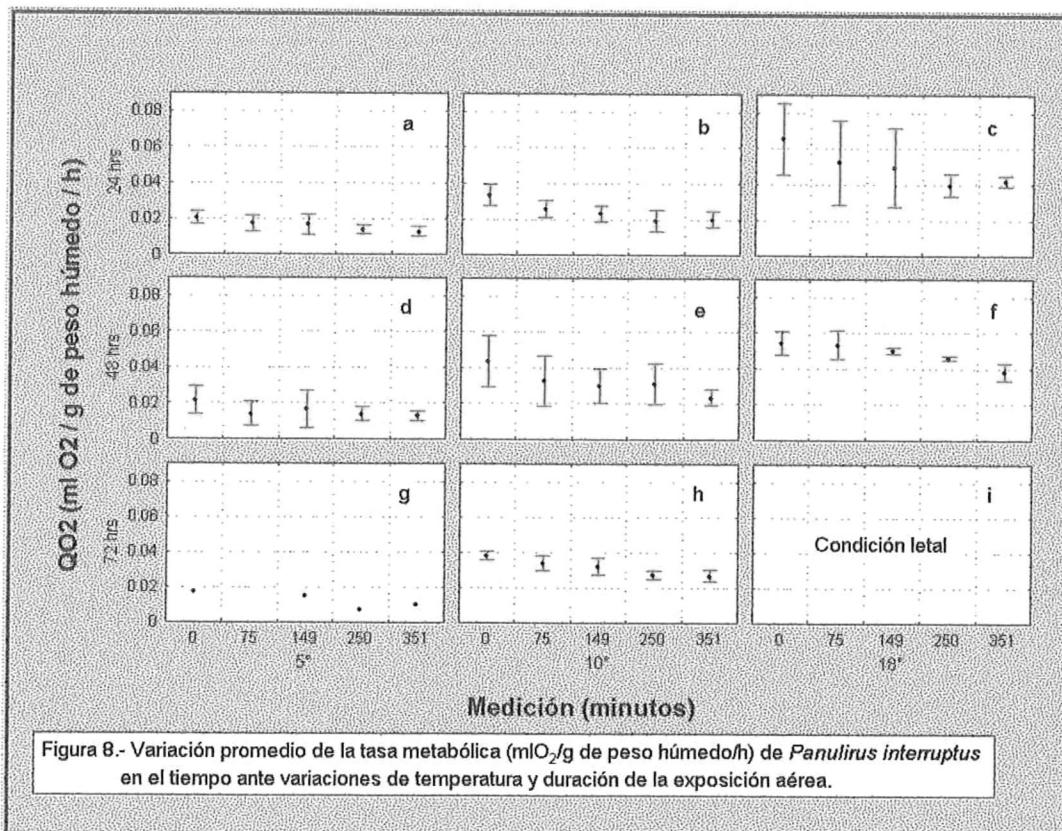
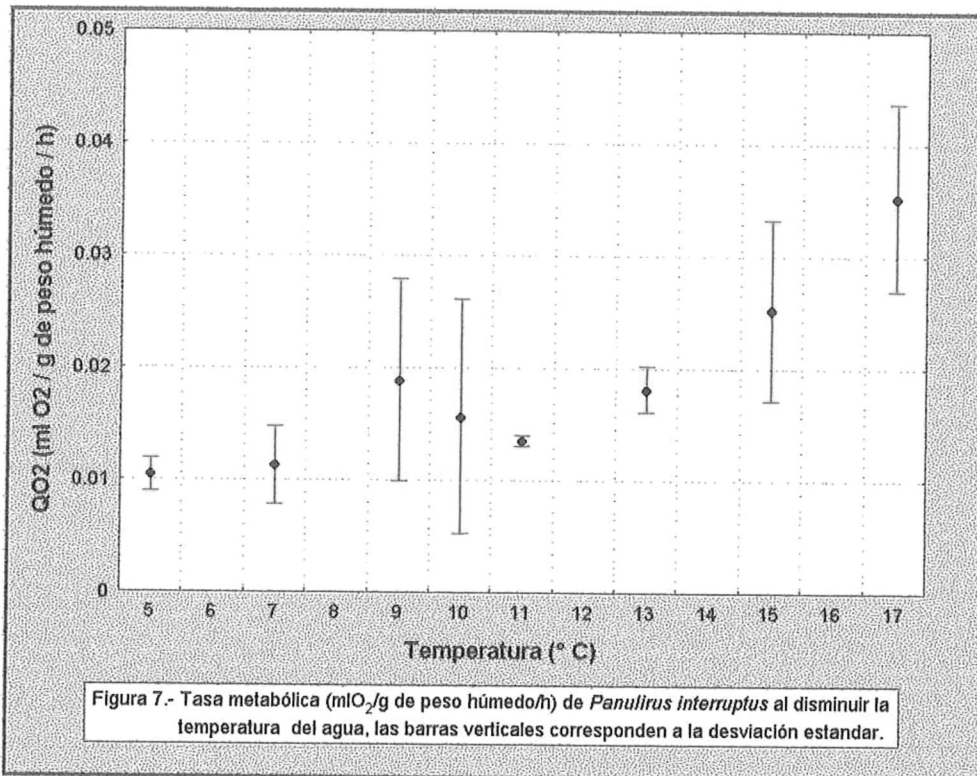
Tabla I.- ANdeVA de una vía del efecto de la temperatura (de 17 a 5 °C) sobre la tasa metabólica (QO_2) de *Panulirus interruptus*.

Fuente de variación	suma de cuadrados	g.l.	cuadrados medios	F	significancia
Efecto *	0.0014	7	0.000200	4.388246	0.007796 *
Error	0.00069	15	0.000046		
Total	0.00209				

* diferencia significativa

3.3 Tasa metabólica (QO_2) posterior a la exposición aérea.

Los datos de la QO_2 de las langostas al ser regresadas al agua después de la exposición aérea se muestran en la figura 8, en ésta se compararon las QO_2 de las diferentes condiciones experimentales y se encontró un decremento en la QO_2 conforme aumenta el tiempo de permanencia en el agua, siendo más notoria esta tendencia en las temperaturas mayores (Figuras 8-b, c, e, f y h). En la figura 8-g sólo se presenta la QO_2 de una langosta debido a que las dos restantes murieron. En la figura 8-i no aparece ningún valor porque las langostas se murieron antes de concluir el tiempo de exposición aérea (72 horas). Lo que más resalta en la figura son los decrementos en los valores de la QO_2 conforme aumenta el tiempo de permanencia en el agua y su relación con las diferentes temperaturas, siendo menores conforme



disminuye la temperatura del experimento. Algo muy interesante es, que aún sin diferencias significativas ($p > 0.05$) los valores de la QO_2 en una misma condición experimental, tienden a ser iguales a partir de la tercer medición.

Los datos resultaron normales (Kolmogorov-Smirnoff) y homogéneos por lo que se realizó el análisis de varianza multivariado, que mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) influenciadas por la temperatura de exposición aérea y por el tiempo de medición. Sin embargo no se encontró un efecto significativo ocasionado por el tiempo de exposición aérea ni por la combinación de los factores (Tabla II). En el análisis se tuvieron que eliminar los datos de las 72 horas de exposición aérea debido a su inconsistencia.

En el análisis a posteriori (prueba de Honestidad de Tukey) se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los valores de 5 y los de 18 °C, y algunas otras diferencias más específicas con los datos de 10 °C.

Tabla II.- ANdeVA de 3 vías del efecto de la (1) temperatura (5, 10 y 18 °C), el (2) tiempo de exposición aérea (24 y 48 horas) y el (3) tiempo de medición (0, 75, 149, 250 y 351 minutos) sobre la tasa metabólica (QO_2) de *Panulirus interruptus*.

Efecto	g.l. efecto	cuadrados medios del efecto	g.l. error	cuadrados medios del error	F	significancia
1 *	2	0.006923	51	0.000094	73.566	0.000000 *
2	1	0.000081	51	0.000094	0.8579	0.358667
3 *	4	0.000500	51	0.000094	5.3100	0.001184 *
12	2	0.000169	51	0.000094	1.7933	0.176739
13	8	0.000039	51	0.000094	0.4135	0.907522
23	4	0.000026	51	0.000094	0.2732	0.893892
123	8	0.000021	51	0.000094	0.2211	0.985548

* diferencia significativa

3.4 Excreción de amonio molecular (NH₃) posterior a la exposición aérea.

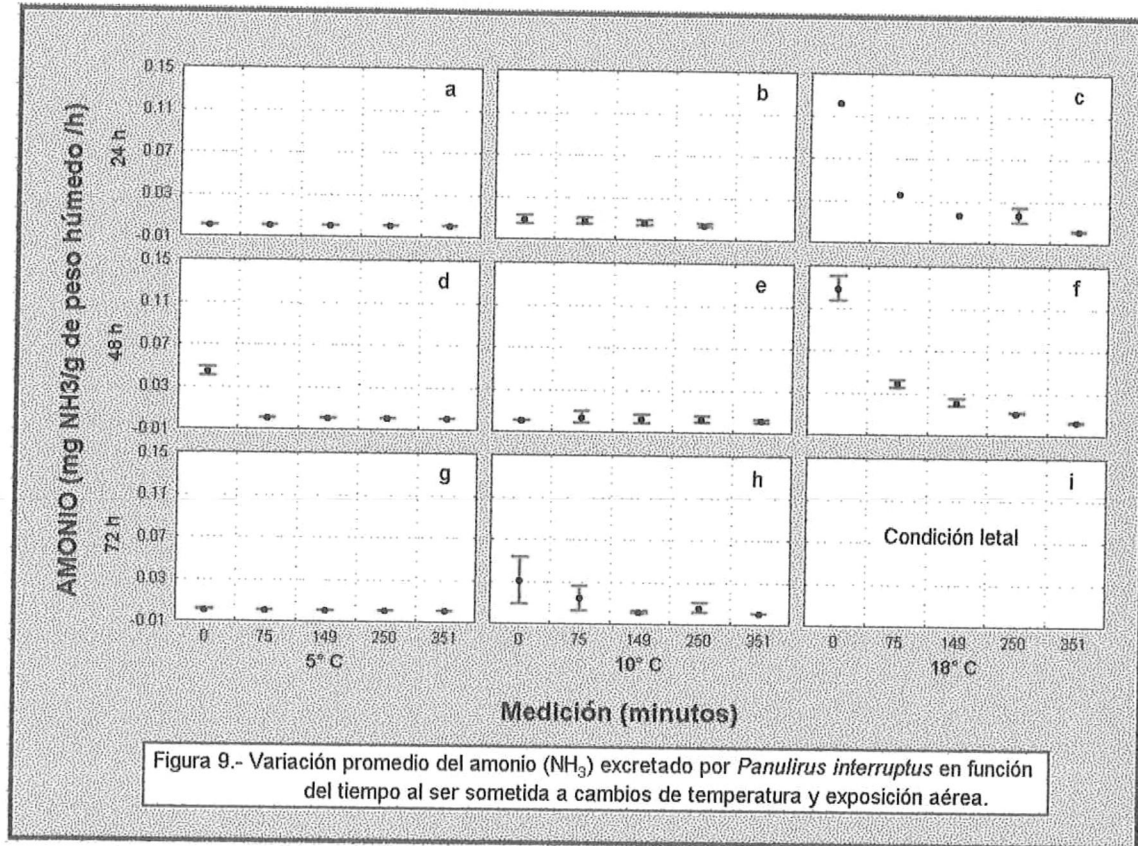
La excreción de amonio (mg NH₃ / g de peso húmedo / h) se muestra en la figura 9, donde se comparan las excreciones de amonio en el tiempo con las temperaturas y tiempos de exposición aérea. Las mayores excreciones ocurren a los 18 °C disminuyendo conforme aumenta el tiempo de permanencia en el agua. En la figura 9-i no se presentan valores de excreción debido a la muerte de los organismos. Cabe resaltar que al disminuir la temperatura de exposición aérea la excreción de amonio se vuelve menor y más constante. En la figura 9-c no se presentan valores de desviación estándar debido a que se perdieron las replicas correspondientes.

Los datos resultaron normales y homogéneos, por lo que se procedió al análisis de varianza multivariado (Tabla III), comparando el efecto de la temperatura, del tiempo de exposición y del tiempo de medición sobre la excreción de amonio.

Tabla III.- ANdeVA de tres vías del efecto de la (1) temperatura (5, 10 y 18 °C), el (2) tiempo de exposición aérea (24 y 48 horas) y el (3) tiempo de medición (0, 75, 149 y 250 minutos) sobre la excreción de amonio molecular (NH₃) de *Panulirus interruptus*.

Efecto	g.l. efecto	cuadrados medios del efecto	g.l. error	cuadrados medios del error	F	significancia
1 *	2	0.008793	34	0.000012	728.2462	0.000000 *
2 *	1	0.000110	34	0.000012	9.1058	0.004802 *
3 *	3	0.005281	34	0.000012	437.3820	0.000000 *
12 *	2	0.000309	34	0.000012	25.5867	0.000000 *
13 *	6	0.002554	34	0.000012	211.5556	0.000000 *
23 *	3	0.000164	34	0.000012	13.5591	0.000006 *
123 *	6	0.000203	34	0.000012	16.7972	0.000000 *

* diferencia significativa



Para el análisis estadístico se eliminaron los datos de las 72 horas de exposición aérea y los de la medición de 351 minutos debido a su inconsistencia. En el análisis se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) ocasionadas por los tres factores y por sus combinaciones.

Al realizar el análisis a posteriori (Honestidad de Tukey) se encontraron las siguientes tendencias: diferencia significativa entre los datos de 5 y 10 °C con los de 18 °C; otras diferencias más particulares fueron la del valor de 5 °C al tiempo de medición 0 minutos y 48 horas de exposición aérea con todos los demás, y la de los valores de 18 °C al tiempo de medición 0 minutos, y tiempos de exposición de 24 y 48 horas con los demás valores.

3.5 Tasa metabólica (QO_2) fuera del Agua.

En la tabla IV se muestran los valores de la QO_2 fuera del agua de *Panulirus interruptus* para las distintas condiciones, en ella se puede apreciar que los valores de la tasa metabólica a 20 °C fueron mayores más no diferentes significativamente ($p > 0.05$) de los valores de 13.5 °C (Tabla V).

Tabla IV.- Valores de la tasa metabólica (QO_2) de *Panulirus interruptus* fuera del agua en atmósferas de aire y oxígeno a 20 y 13.5 °C.

Atmósfera	Temperatura			
	20° C		13.5° C	
	promedio	σ	promedio	σ
Aire	0.030567	0.00223	0.02090	0.00542
Oxígeno 100%	0.046333	0.01078	0.03863	0.00939

σ = desviación estándar.

Sin embargo en el análisis de varianza multivariado se encontró una diferencia significativa ($p < 0.05$) inducida por la atmósfera de exposición (Tabla V). En el análisis a posteriori (Honestidad de Tukey) se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los valores de oxígeno a 20 °C y los de aire a 13.5 °C. Lo más importante es resaltar que los valores de la QO_2 en oxígeno siempre fueron mayores que los de aire aunque no diferentes significativamente ($p > 0.05$).

Tabla V.- ANdeVA de dos vías del efecto de la exposición aérea sobre el consumo de oxígeno de *Panulirus interruptus* en (1) dos ambientes distintos (aire y oxígeno) y (2) temperaturas de 20 y 13.5 °C.

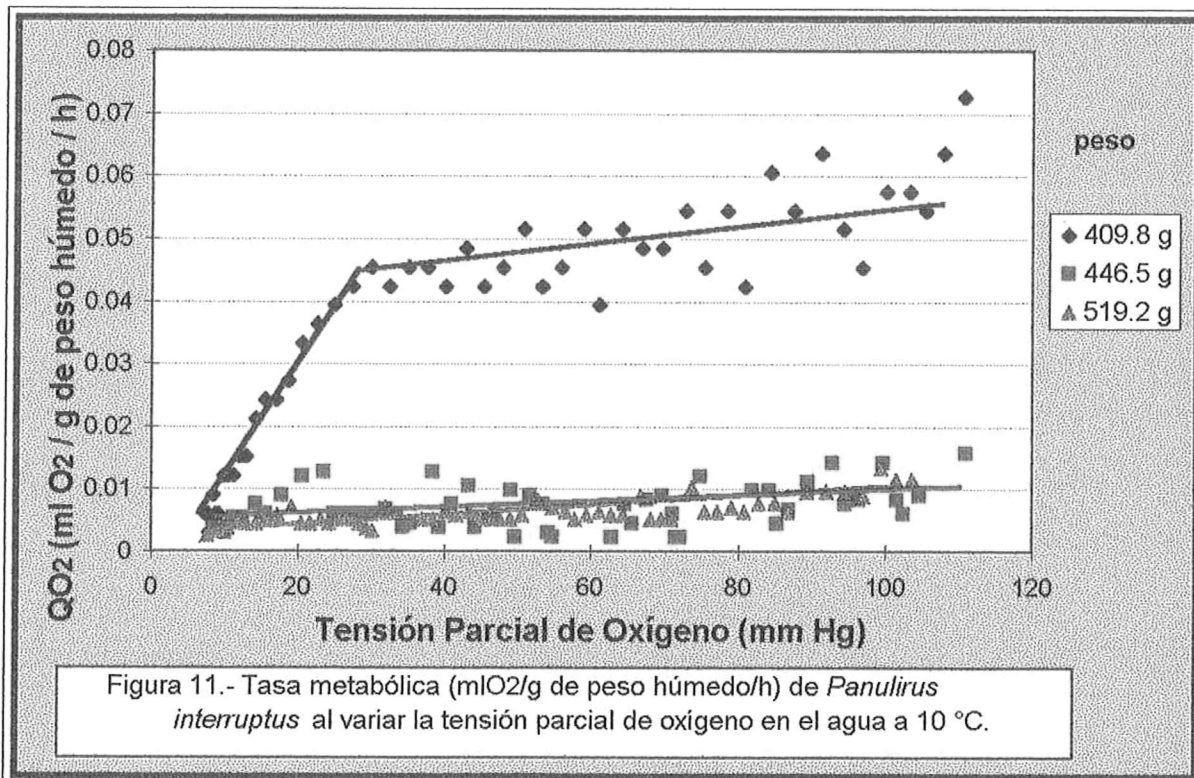
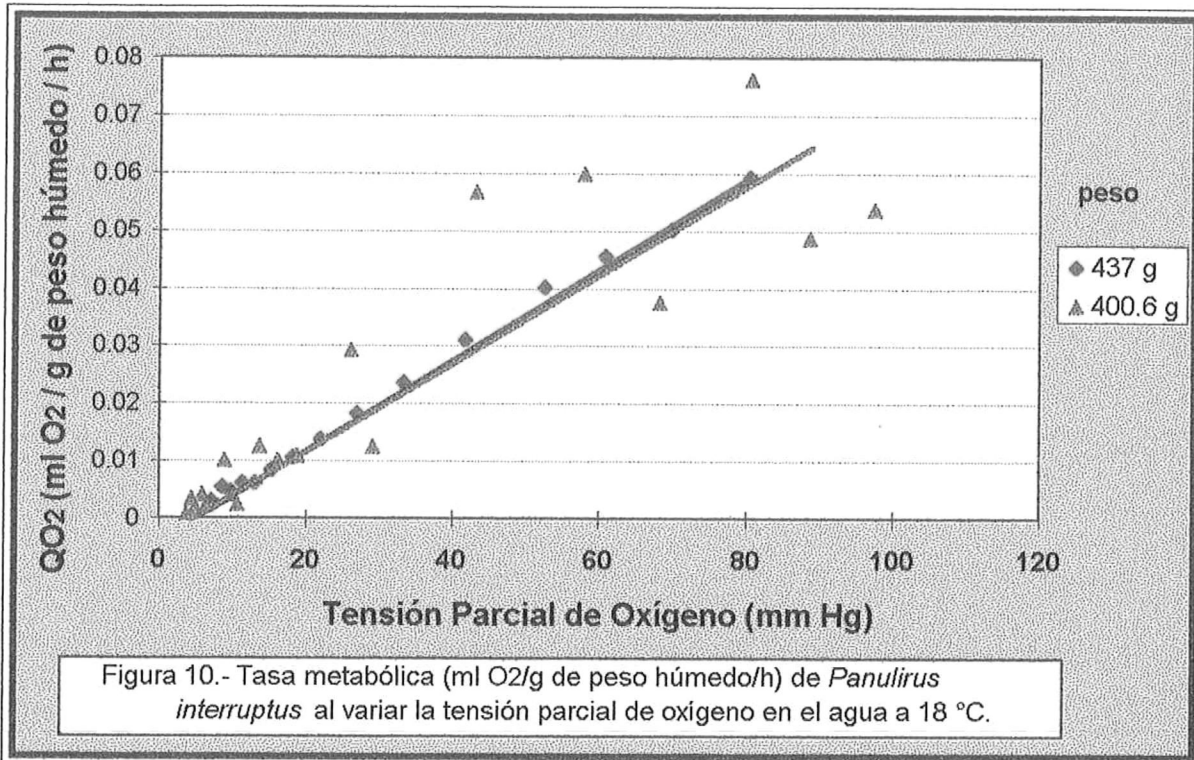
Efecto	g.l. del efecto	cuadrados medios del efecto	g.l. del error	cuadrados medios del error	F	significancia
1 *	1	0.000842	8	0.00006	14.0897	0.005595 *
2	1	0.000226	8	0.00006	3.7865	0.087543
12	1	0.000003	8	0.00006	0.0485	0.831108

* diferencia significativa

3.6 Determinación de la tensión parcial crítica de oxígeno (P_c).

La tasa metabólica de *Panulirus interruptus* al variar la tensión parcial de oxígeno en el agua a 18 °C se muestra en la figura 10. Lo que sobresale es la dependencia que se da del metabolismo respecto de la cantidad de oxígeno disponible en el medio, esto se da en los dos casos presentados en la figura, la representación gráfica se da con una recta de pendiente positiva. El tercer caso fue eliminado debido a fallas en el equipo de medición. En el caso de los 10 °C (Figura 11), se aprecia una dependencia metabólica poco marcada en dos de las langostas empleadas, esta dependencia se representa como una recta con poca pendiente, lo que indica que el metabolismo no varía demasiado al variar la cantidad de oxígeno en el medio. En el

tercer caso se aprecia una baja dependencia inicial que luego se incrementa alrededor de los 30 mm de Hg, en este caso lo importante es resaltar que la langosta sufrió la pérdida de una de sus antenas al inicio del experimento.



3.7 Determinación de los valores de Q_{10} para los experimentos a diferentes temperaturas.

En los valores de Q_{10} de la tabla VI se puede ver que durante el enfriado el mayor cambio metabólico de las langostas ocurre de los 17 a los 11 °C con valores superiores a 4 unidades de Q_{10} ; después se presenta otra zona donde el cambio metabólico es intermedio, con valores menores a 3.2 unidades; finalmente se presenta una zona donde los valores de Q_{10} son menores a 2 unidades. Los valores que se distinguen como fuera de zona son los datos que involucran a los valores de 9 y 10 °C, estos valores al combinarse con las temperaturas menores a ellos presentan valores mucho mayores a los esperados para la zona, y cuando se combinan con los superiores (10, 11, 13, 15 y 17 °C) los valores presentes son mucho menores a lo esperado para esa zona.

En la tabla VII se muestran los valores del Q_{10} de *Panulirus interruptus* en los experimentos de la QO_2 posterior a la exposición aérea en las condiciones de 0 minutos y 351 minutos posteriores a la inmersión. Se escogieron estos valores para comparar el cambio metabólico al inicio y al final del experimento y poder encontrar posibles cambios influenciados por el tiempo de inmersión, sin embargo no se encontraron cambios grandes en el cálculo de 18 a 5 °C, presentando valores de 2.4 y 2.5 para el caso de las 24 horas de exposición aérea y, 2.0 y 2.3 para las 48 horas de exposición. Para el caso de las 72 horas no se pudo calcular el cambio de 18 a 5 °C, debido a la muerte de los organismos de la temperatura de 18 °C, en donde el cambio parcial de 10 a 5 °C fue muy diferente, cosa que también se presentó para el caso de las 48 horas pero que en el cálculo de 18 a 5 °C se compenso.

Tabla VI.- Matriz del Q_{10} de *Panulirus interruptus*, considerando los valores promedio de QO_2 de cada temperatura.

Q_{10}	Temperatura °C							
	5	7	9	10	11	13	15	17
5		1.5	4.5	2.3	1.6	2.0	2.4	2.8
7			13	3.0	1.5	2.2	2.7	3.1
9				0.2	0.2	0.9	1.6	2.2
10					0.4	1.6	2.6	3.2
11						4.2	4.7	4.9
13							5.2	5.3
15								5.4
17								

Tabla VII.- Q_{10} de la tasa metabólica (QO_2) de *Panulirus interruptus* posterior a la exposición aérea.

Tiempo de exposición aérea (h)	Temperatura (°C)	QO_2		Q_{10} (18-10) y (10-5)		Q_{10} (18-5)	
		0 min	351 min	0 min	351 min	0 min	351 min
		24	18	0.0653	0.0417		
	10	0.0333	0.0199	2.3	2.5		
	5	0.0204	0.0128	2.7	2.4	2.4	2.5
48	18	0.0543	0.0381				
	10	0.0434	0.0234	1.3	1.8		
	5	0.0213	0.0129	4.2	3.3	2.0	2.3
72	18						
	10	0.0379	0.0269				
	5	0.0175	0.0106	4.7	6.4		

Para el experimento de la tasa metabólica fuera del agua se encontraron valores de Q_{10} menores (Tabla VIII) a los encontrados durante el enfriado en agua, con valores que oscilaron entre 1 y 2. El caso en que se presentó el menor cambio metabólico fue el de exposición en atmósfera de oxígeno con un valor de 1.3 unidades de Q_{10} .

Tabla VIII.- Q_{10} de los valores promedio de la tasa metabólica (QO_2) de *Panulirus interruptus* fuera del agua en ambientes de aire y oxígeno.

Condición	Temperatura (°C)	QO_2 promedio	Q_{10}
Aire	20.0	0.0305	1.8
	13.5	0.0209	
Oxígeno	20.0	0.0463	1.3
	13.5	0.0386	

4.- DISCUSIONES

4.1 Cambios de Temperatura y su influencia sobre el metabolismo

Los cambios de temperatura del medio ambiente ocasionan un efecto muy considerable sobre la fisiología de los organismos, siendo los poiquilotérmos los más afectados, grupo en donde se encuentra la langosta *Panulirus interruptus*, estos efectos pueden ser medidos mediante el consumo de oxígeno, que es una expresión conveniente de la actividad metabólica de conjunto del animal (Thomas (1954), Schmidt-Nielsen (1976) y Alves y Mota (1980)). Estos efectos se pueden relacionar con la temperatura, si se conoce el cambio de temperatura que se lleva a cabo en el interior del organismos. El enfriado y calentado interno de *Panulirus interruptus* (Figuras 5 y 6) muestran como se transmitió la energía calorífica por conducción hacia o desde el interior del organismo, estos resultados no están considerando la transmisión de calor por convección forzada que se daría si el organismo se encontrara vivo, pero su influencia se considera no significativa debido al sistema de circulación abierto de las langostas, lo que hace que este tipo de transmisión sea casi nula. Al respecto Prosser (1950), estableció que la pérdida de calor en el agua se da por conducción y convección, y como las temperaturas en el agua son más estables que en el aire los animales acuáticos están menos sujetos a una pérdida o ganancia rápida de calor.

En los resultados se aprecia una diferencia en la variación de la temperatura interna del abdomen con la del cefalotórax, presentándose una transmisión de calor más rápida en el abdomen. Lo que nos conduce a pensar que la consistencia del tejido abdominal fue más adecuada para la conducción del calor que la del cefalotórax. Esto se debe a la gran diferencia que existe entre los tejidos, ya que el tejido abdominal esta constituido principalmente por músculo estriado y el cefalotórax se constituye de una gran diversidad de órganos y tejidos.

En las razones de pérdida o ganancia de calor un factor que no influyó en la transmisión de calor expresado en las figuras 5 y 6 fue, la transmisión de calor por la circulación normal de agua a través de la cavidad branquial en los organismos vivos. Esto se trato de solucionar manteniendo una circulación homogénea de agua durante el experimento, la influencia de este factor tal vez haga variar los resultados de enfriado y calentado interno en un organismo vivo, acortando los tiempos de igualación de la temperatura con el medio circundante o disminuyendo la diferencia en los tiempos de igualación del cefalotórax y del abdomen. Sin embargo, los resultados no varían grandemente ya que en casi todos los animales acuáticos no hay mecanismos que reduzcan activamente la pérdida de calor que ocurre normalmente por conducción y convección (Prosser, 1950). La estructura del exoesqueleto también pudo influir en el comportamiento térmico del organismo, debido a que en el abdomen el exoesqueleto se encuentra segmentado, lo que puede ocasionar una mayor transmisión de calor por el contacto del tejido interno con el medio externo y a que el cefalotórax se encuentra constituido por una sola pieza que aísla uniformemente al tejido interno. El conocer lo anterior nos lleva a entender el comportamiento térmico de la langosta, lo que nos permitió obtener una razón de enfriamiento y calentamiento interno. Lo que nos aseguró que los valores del metabolismo obtenidos a diferentes temperaturas fueran representativos de ésta.

El metabolismo de *Panulirus interruptus* presentó una relación directa con la temperatura ambiental (Figura 7). Mostrando un cambio metabólico que se puede dividir en tres zonas; la primera abarca las temperaturas de 11 a 17 °C y es donde el cambio metabólico es mayor, lo que indica una subcompensación metabólica ante cambios de temperatura inmediatos. La segunda zona es la que abarca las temperaturas bajas (5, 7, 9, 10, 11 y 13 °C), en esta zona la langosta *Panulirus interruptus* trata de compensar los cambios en la temperatura, lo que nos lleva al análisis de la tercer zona (9 y 10 °C), en ésta las langostas sobrecompensan el efecto

producido por el cambio de temperatura, por lo que sus valores de Q_{10} son menores a 1. Lo anterior se corrobora con lo mencionado por Hoar (1978) y Hainswoth (1981), ellos indicaron que el metabolismo se compensa perfectamente si el cambio en el indicador metabólico considerado es nulo al variar la temperatura, si se presentan valores de Q_{10} iguales a 2 no se presenta tal compensación y si el valor aumenta lo que ocurre es una subcompensación, según la terminología establecida por Precht en 1973. La subcompensación que presenta *Panulirus interruptus* se atribuye a que vive en un medio ambiente donde la temperatura no varía drásticamente en los valores altos (15-17 °C). El caso de la zona de sobrecompensación se atribuye al hecho de que las langostas intentan compensar los cambios de temperatura pero algunas de ellas se exceden. Esto se corrobora con la zona donde la langosta trata de compensar el cambio de temperatura, ya que la de sobrecompensación se encuentra al inicio de ésta, lo que indica que al bajar la temperatura comienza una compensación que se pasa de lo requerido, pero que al final llega a su valor indicado. Algo similar se reportó por Thomas (1954) para la langosta *Homarus vulgaris*, el indicó una variación en el consumo de oxígeno directamente proporcional a la temperatura en el rango de los 5 a los 21 °C. Sin embargo él no reportó zonas de comportamiento distinto, por lo que se considera que el cambio metabólico es un mecanismo generalizado en algunas langostas pero que puede tener zonas de compensación diferentes.

Con la disminución en el consumo de oxígeno al bajar la temperatura de 17 a 5 °C, se puede esperar una disminución en todas las funciones biológicas del animal, tales como una baja en la frecuencia de agitación de la membrana que mueve el agua a través de las branquias (escafognatito) y una disminución en la circulación sanguínea entre muchos otros. Esto se da como una respuesta ante la baja metabólica y el consecuente bajo suplemento energético. Thomas (1954), reportó que *Homarus vulgaris* presentó aumentos en la frecuencia del escafognatito al aumentar la temperatura de 5 a 21 °C. Lo anterior se relaciona directamente con el efecto que tiene la temperatura sobre las reacciones enzimáticas. Prosser (1950), Hoar (1978), y

Hainsworth (1981), establecieron que las velocidades de todas las reacciones en los animales varían con la temperatura absoluta, cumpliendo con las bases teóricas de Arrhenius, aunque su comportamiento no es estricto. Esta variación se presentó en el análisis de la respuesta metabólica de *Panulirus interruptus* ante cambios de temperatura, donde se presentaron dos comportamientos diferentes, basados en las desviaciones estándar de la figura 7. En ella se aprecia que se da un comportamiento cuando las desviaciones son grandes y otro cuando son pequeñas. El primer caso (temperaturas altas y zona de sobrecompensación) se pudo deber a que los organismos no se encontraban adaptados a esas temperaturas y por lo tanto su comportamiento varió en función de la temperatura, lo que nos indica que cada organismo puede responder distinto ante los cambios inmediatos de temperatura. En el segundo caso hay 2 explicaciones, una para las temperaturas de 11 y 13 °C que se considera como el posible rango de temperaturas al que los organismos se encuentran más adaptados y por lo tanto su respuesta metabólica no varía tanto; y para el caso de los 5 y 7 °C la disminución de la variación estándar se atribuye a la posible inhibición (total o parcial) de los sistemas bioquímicos, lo que se agudizó conforme disminuyó la temperatura. Al respecto, Thomas (1954), reportó que *Homarus vulgaris* tiende a parecer muy afectada o debilitada a temperaturas de 5 °C y menores, por otro lado Hoar (1978) y Hainsworth (1981), resaltaron la relación existente entre la temperatura y la razón de las reacciones enzimáticas, reportando rangos de temperatura óptima donde las enzimas interactúan más efectivamente con los sustratos. Esta relación se representa como una parábola que en sus extremos (temperaturas altas y bajas) las reacciones enzimáticas se inhiben, esta relación también se ve afectada por la abundancia del sustrato correspondiente de la enzima. De lo anterior se considera que la inhibición de las funciones enzimáticas de *Panulirus interruptus* a bajas temperaturas comienza cuando la temperatura del agua es cercana o menor a los 7 °C, la inhibición a altas temperaturas no se obtuvo debido al diseño experimental, y a que quedó fuera de los objetivos del presente trabajo.

Respecto a lo observado alrededor de los 11 y 13 °C, y comparando estas temperaturas con las del medio natural donde vive la langosta la mayor parte del año, se considera que en este rango de temperaturas se encuentra la zona térmica óptima para las langostas. Al respecto Mancilla-Peraza, *et al.*, (1993) reportaron temperaturas para Punta Canoas Baja California, México (zona similar a Punta Abre Ojos y en general a toda la zona de distribución de la langosta *Panulirus interruptus*) que van de los 16 °C en superficie a los 12 °C a los 60 metros de profundidad, manteniéndose casi constantes durante todo el año a excepción de los eventos de surgencia que hacen disminuir la temperatura en toda la columna de agua.

Al comparar los valores de Q_{10} posteriores a la exposición aérea, se encontró que en el cambio de 18 a 10 °C (Tabla VII), *Panulirus interruptus* tiende a compensar los efectos metabólicos producidos por la variación de la temperatura conforme transcurre el tiempo de exposición, Sin embargo al considerar el cambio metabólico de los 10 a los 5 °C se observó que *Panulirus interruptus* presenta un mayor desequilibrio conforme transcurre el tiempo de exposición. Esto se atribuye a que a los 5 °C las funciones metabólicas se ven inhibidas, por lo tanto los valores de Q_{10} no se consideran buenos representantes del cambio metabólico en esta temperatura. En lo anterior no se tomó en cuenta la influencia del tiempo posterior a la reinmersión sobre el metabolismo, debido a que los valores de Q_{10} no difieren demasiado a los 0 y a los 351 minutos de permanencia en el agua.

4.2 Comportamiento ante la exposición aérea

En los organismos la deuda de oxígeno se da cuando el suplemento de oxígeno es menor a la demanda, esto ocasiona que el metabolismo produzca un aumento de ácido láctico y otros subproductos metabólicos que son oxidados cuando el oxígeno

se encuentra disponible nuevamente (Prosser, 1950). Este efecto se presentó en *Panulirus interruptus* después de la exposición aérea, ya que el metabolismo fue de mayor a menor conforme transcurrió el tiempo posterior a la reinmersión. Lo anterior se presentó en todas las condiciones experimentales (Figura 8), por lo que se considera como una deuda de oxígeno que adquieren las langostas durante la exposición aérea. La deuda se atribuye a la ineficiencia que presentan las langostas para llevar a cabo el transporte gaseoso durante la exposición aérea. Por lo tanto la disminución en el consumo de oxígeno conforme transcurrió el tiempo de reinmersión se interpreta como un pago de la deuda de oxígeno, misma que se incrementó conforme aumentó la temperatura y el tiempo de exposición aérea, aunque ésta última no influyó significativamente ($P > 0.05$).

Algo similar a lo ocurrido con *Panulirus interruptus* se presentó con *Homarus vulgaris*, Thomas (1954), encontró que cuando la langosta se expone a un medio donde el oxígeno ha sido eliminado es incapaz de mantener un consumo de oxígeno normal, lo que presumiblemente se traduce en una deuda de oxígeno. Esto se corrobora con lo encontrado por Spincer *et al.*, (1990), ellos demostraron que el aumento de l-lactato en la sangre de *Nephrops norvegicus* es un indicador del metabolismo anaeróbico y que seguramente resulta de la incapacidad de mantener un adecuado suplemento de oxígeno durante la exposición aérea. Lo mismo ocurrió con *Panulirus argus* (Vermeer, 1987) ya que la rápida transición a un metabolismo anaeróbico durante la exposición aérea indica una captación insuficiente de oxígeno fuera del agua. Por lo anterior se puede decir que la deuda de oxígeno es una respuesta común en las langostas cuando estas son expuestas al aire.

Al analizar el metabolismo posterior a la exposición aérea se encontró una relación directa entre la deuda de oxígeno y la temperatura de exposición. Esto demuestra que mientras mayor es la temperatura mayor es el metabolismo y el requerimiento de energía, por lo tanto se espera una mayor producción de

metabolitos, que ocasionan la deuda de oxígeno al permanecer en un estado de oxidación bajo. El efecto de la temperatura se aprecia más cuando se considera el tiempo que requiere *Panulirus interruptus* para pagar su deuda de oxígeno, siendo de cerca de 4 horas en el caso de los 18 °C, 2 horas en el caso de la exposición a 10 °C y una hora en el caso de 5 °C. Al respecto Bridges y Brand (1980), mencionaron que el lactato desaparece más rápido (cuando el oxígeno vuelve a estar presente) en especies que viven en zonas donde la hipoxia se presenta normalmente que en especies donde esto no ocurre.

En la deuda de oxígeno de *Panulirus interruptus* no influyó significativamente ($P > 0.05$) el tiempo de exposición aérea después de las primeras 24 horas. Esto nos indica que, probablemente la mayor acumulación de productos como ácido láctico se da durante las primeras 24 horas de exposición y que después su aumento no es significativo. En el caso de *Panulirus argus* Vermeer (1987) encontró que después de exponerlas al aire durante dos horas los niveles de ácido láctico en la hemolinfa aumentan más de 11 veces, pero que el mayor cambio ocurre en los primeros 30 minutos y que los 90 minutos restantes permanece casi sin cambio. Por su parte Spincer *et al.*, (1990), mencionaron que la información existente indica una relación general entre la razón de acumulación de l-lactato y la habilidad para tolerar la exposición aérea, ellos encontraron que en *Nephrops norvegicus* el l-lactato presentó un aumento significativo durante las primeras 12 horas de exposición aérea a 0 y 10 °C y que en las 12 horas siguientes permaneció sin cambios significativos.

En las condiciones de 72 horas de exposición aérea a 5 y 18 °C hubo mortalidad de los organismos, quedando solamente una langosta con vida a 5 °C. Esto pone de manifiesto que: en el caso de 5 °C la inhibición de los procesos bioquímicos dejó a los organismos sin el suplemento energético necesario para la vida; y en el caso de los 18 °C el metabolismo produjo un aumento en la demanda energética que se tradujo en un aumento de las reacciones enzimáticas y con esto se

incremento la producción de metabolitos tóxicos que al no poder ser expulsados del organismo favorecieron la muerte de las langostas. Esto se corrobora con la acumulación de amonio que se da cuando las langostas se encuentran fuera del agua, y que aumenta significativamente ($P < 0.05$) conforme aumenta la temperatura. Lo anterior se ajusta al efecto de la temperatura sobre las reacciones enzimáticas descritas por las bases teóricas de Arrhenius. Al respecto Spincer *et al.*, (1990), reportaron cambios en los parámetros normales de la hemolinfa de *Panulirus argus* al ser expuesta al aire, tales como: aumentos en la concentración de ácido láctico, de amonio y disminuciones en el pH. Como se mencionó anteriormente estos cambios aumentaron con la temperatura como producto del incremento metabólico, por lo tanto a 18 °C los cambios en la química sanguínea pudieron ocasionar daños graves e incluso la muerte, ya que aunque los valores no cambian significativamente con el tiempo de exposición después de las primeras 24 horas, si pudieron afectar severamente por su duración. Algo similar pudo ocurrir con *Panulirus argus* ya que Spincer *et al.*, (1990) reportaron la muerte de las langostas después de 24 horas de exposición a 10° C y sobrevivencias de 48 horas en las expuestas a 0° C.

La muerte de las langostas a 18 °C y 72 horas de exposición aérea puede tener su explicación, si se considera una posible disminución en el pH sanguíneo de *Panulirus interruptus* como respuesta ante la acumulación de CO₂ que se da cuando los crustáceos no pueden eliminarlo hacia el medio aéreo. Al respecto Prosser (1950), mencionó que los organismos generalmente tienen un control preciso del pH, porque una alteración ya sea incremento o decremento puede afectar las reacciones enzimáticas, la regulación osmótica y iónica, y la estabilidad de la membrana celular. De la acumulación de CO₂ Depledge (1984), demostró que *Carcinus maenas* presentó una disminución en la tensión de oxígeno arterial y un aumento en la de CO₂ durante la exposición aérea. DeFur y McMahon (1984), reportaron que *Cancer productus* de la zona sublitoral es incapaz de mantener la extracción de oxígeno adecuada y el pH de la hemolinfa durante la exposición aérea. El CO₂ no es el único

responsable de la acidez sanguínea, por lo tanto la muerte de *Panulirus interruptus* pudo tener otros posibles factores; como la acumulación de ácido láctico al que se atribuye parte de la deuda de oxígeno; o el amonio que aumentó conforme transcurrió el tiempo de exposición aérea. La acidez ocasionada por la acumulación de ácido láctico y por la retención de CO₂ durante la exposición aérea, puede ser contrarrestada por la ionización del amonio, eliminando con esto parte del amonio molecular que es más tóxico para el organismo que el ionizado (Vermeer, 1987 y Burnett, 1988). Por su parte Truchot (1993), resaltó la importancia de la solubilidad del CO₂ en el agua, lo que facilita que éste sea excretado más fácilmente por los crustáceos si las superficies de intercambio gaseoso se mantienen en contacto con la corriente respiratoria. Por lo tanto, cuando a *Panulirus interruptus* se le saca del agua, se ocasiona que la corriente respiratoria se suspenda y por lo tanto la excreción de CO₂ se vea afectada. Lo anterior se reitera con lo reportado por Mcleese (1965), el encontró una relación inversa entre la tasa metabólica y el tiempo de sobrevivencia de la langosta *Homarus americanus* en aire húmedo, además Vermeer (1987) mencionó que la exposición aérea induce una hipoxia sobre *Panulirus argus*, que puede interactuar sinérgicamente con la amonía para acelerar su toxicidad.

La producción de Amonio y su interacción con la temperatura y el tiempo de exposición (Figura 9), nos afirma lo planteado anteriormente y nos induce a pensar que durante la exposición aérea las langostas se vieron imposibilitadas de llevar a cabo la excreción de amonio normal. Por lo tanto se dio la acumulación que se manifestó al ser regresadas al agua como una excreción de amonio que disminuyó conforme aumentaba el tiempo posterior a la reinmersión. Al respecto Vermeer (1987), mencionó que las langostas espinosas son amoniotélicas y eliminan el amonio producido por difusión, desde las branquias hacia la corriente respiratoria de agua, entonces al ser extraídas del agua se pierde el contacto directo con la corriente respiratoria y por lo tanto la ruta normal de excreción de amonía se elimina.

La excreción de amonio alcanzó sus niveles más bajos después de 6 horas de reinmersión en el caso de exposición a 18 °C, dos horas para el caso de 10 °C y una hora para los 5 °C. Esto pone de manifiesto que la recuperación de las langostas tiene una relación directa con la temperatura de exposición y el tiempo posterior a la reinmersión. Algo similar fue encontrado por Vermeer (1987), el mencionó que las langostas *Panulirus argus* que han sido expuestas al aire (22-30 °C) durante dos horas regresan a los valores normales de ácido láctico, amonia y pH en la sangre a las 24 horas de ser regresadas al agua. Sin embargo la estabilización pudo darse antes pero por causa de su diseño experimental no fue posible saber en que momento dentro de las 24 horas se dio la recuperación.

La excreción de amonio de *Panulirus interruptus* no fue lineal en el tiempo por lo que se atribuye el proceso a una excreción por difusión pasiva, ya que el gradiente de concentraciones se da del interior hacia el exterior del organismo, facilitando con esto la difusión. La concentración de amonio en la sangre de los crustáceos es varios ordenes de magnitud mayor que la del medio ambiente, por lo tanto su difusión hacia el medio es pasiva, únicamente cuando la concentración del medio es mayor la difusión se vuelve activa (Yong-lai *et al.*, 1991). Lo anterior se corrobora con lo encontrado en la figura 9-g, donde se presentan valores de desviación estándar para todos los tiempos de medición, siendo que en esta condición solo se contaba con un organismo vivo (esto ocurrió por la dificultad de determinar la muerte de los organismos a pesar de no presentar valores de consumo de oxígeno), lo que nos indica que la excreción de amonio se dio por difusión pasiva.

4.3 Importancia de la cantidad de oxígeno dentro y fuera del agua

Fuera del agua:

La tasa metabólica de *Panulirus interruptus* fuera del agua se vio afectada directamente por la temperatura y por la cantidad de oxígeno disponible, no obstante que ésta última no presentó diferencias significativas ($P > 0.05$). Los valores de la QO_2 en ambientes de oxígeno al 100 % son siempre mayores a los del aire, independientemente de la temperatura de exposición empleada (Tabla IV y V). Al considerar el cambio metabólico dentro y fuera del agua se observó que el cambio metabólico no es tan marcado fuera del agua como dentro de ella. Los valores del cambio metabólico fuera del agua tanto en aire como en oxígeno al 100 % no alcanzan las dos unidades de Q_{10} siendo de 1.8 y 1.3 respectivamente. Esto nos indica que fuera del agua el metabolismo no solo se ve afectado por la temperatura sino que la misma exposición influye, haciendo que el metabolismo aeróbico disminuya y se vea complementado por el metabolismo anaeróbico. Los cambios metabólicos tan bajos indican que la cantidad de oxígeno que puede captar *Panulirus interruptus* durante la exposición aérea se mantiene casi constante aumentando un poco cuando la cantidad de oxígeno disponible se incrementa. El cambio metabólico anaeróbico no se logró medir debido a que quedó fuera del alcance del diseño experimental. De lo anterior Thomas (1954) reportó que cuando *Homarus americanus* se encuentra fuera del agua el consumo de oxígeno es directamente proporcional a la temperatura y su valor es de menos de un séptimo del valor obtenido en agua bien aireada y Vermeer (1987) mencionó que la extracción de oxígeno del aire por *Panulirus argus* es insuficiente para mantener un metabolismo aeróbico.

El aumento en la tasa metabólica de *Panulirus interruptus* al encontrarse en una atmósfera de oxígeno al 100 %, nos indica que al incrementarse el gradiente de oxígeno la difusión hacia el interior del organismo se facilita. Lo que puede actuar

como una ventaja o desventaja para el organismo. Como ventaja, porque ayuda a mantener el metabolismo aeróbico; como desventaja, porque al aumentar el metabolismo aeróbico es posible que se incremente la producción de CO_2 , lo que a largo plazo puede resultar dañino para el organismo. Lo mismo ocurrió en el caso de *Homarus americanus*, que presentó mayores consumos de oxígeno cuando las langostas fueron expuestas a mezclas de aire y oxígeno, esto presumiblemente se reflejó en un aumento de metabolismo, sin embargo los organismos se murieron más rápido cuando la mezcla de oxígeno era de 51 y 85 % de oxígeno (Mcleese, 1965).

Otro factor que se mencionó anteriormente y que puede afectar los valores de la QO_2 fuera del agua es, que el CO_2 producido por el metabolismo aeróbico no se excreta totalmente y por lo tanto se acumula en el organismo, ocasionando una acidificación de la hemolinfa. Al respecto Vermeer, (1987) mencionó que la acidosis puede ocasionar problemas de extracción de oxígeno, ya que la hemocianina disminuye su afinidad por él cuando el pH baja.

Se constató durante los experimentos de exposición aérea que las branquias de *Panulirus interruptus* sufrieron una disminución de área, debido a que se colapsaron las lamelas branquiales, ocasionando una disminución de la superficie de intercambio gaseoso, con esto disminuyó la eficiencia de las branquias. Al respecto O'Mahoney y Full (1984), mencionaron que *Callinectes sapidus* no compensó la disminución en la ventilación incrementando la extracción de oxígeno fuera del agua, ellos mencionan que esto puede tener involucrado posiblemente el colapso de las branquias, lo que ocasiona una disminución en el área de intercambio gaseoso, dejando como consecuencia una extracción de oxígeno constante. También Defur (1988), mencionó que los crustáceos decápodos de la zona intermareal, la adhesión de las lamelas branquiales durante la emersión ocasiona que las superficies de intercambio gaseoso disminuyan, por lo tanto son incapaces de llevar a cabo el intercambio.

Mantener una humedad relativa alta durante la exposición aérea de *Panulirus interruptus* evitó que se secaran las superficies de intercambio gaseoso y por lo tanto se afectara aún más el intercambio gaseoso. En muchos organismos de la zona intermareal el agua se retiene junto al tejido suave durante la exposición aérea para prevenir que se seque y en algunos casos la retención de agua mantiene las superficies respiratorias húmedas y asegura que el intercambio gaseoso continúe durante la emersión (Burnett, 1988).

Dentro del agua:

Al variar la cantidad de oxígeno en el agua, el metabolismo de *Panulirus interruptus* presentó un comportamiento dependiente de la concentración de oxígeno. Esta dependencia tuvo una relación directa con la temperatura ya que la pendiente de las rectas en la figura 10 (18 °C) es mayor que la pendiente de las rectas de dos de los organismos presentados en la figura 11 (10 °C). Esto nos indica que la langosta es incapaz de compensar la disminución en la cantidad de oxígeno disponible a 18 y 10 °C, en el tercer caso de la figura 11 se muestran valores de la QO_2 mayores a los presentados por las otras dos langostas, además se da un cambio en la pendiente de la línea que la representa. La diferencia metabólica se debe al estrés provocado por la pérdida de una de sus antenas durante el experimento, lo que nos indica que el estrés es un factor que incrementa el metabolismo y como consecuencia la dependencia por el oxígeno. En este caso la dependencia se incrementa conforme disminuye la cantidad de oxígeno disponible, debido a que la demanda de oxígeno es mayor y la cantidad de oxígeno existente no la satisface, esto ocurrió alrededor de los 30 mm de Hg de tensión de oxígeno.

De lo anterior Prosser (1950), mencionó que la dependencia metabólica de la cantidad de oxígeno indica un bajo control respiratorio y la probable importancia de la difusión como vía de suplemento de oxígeno hacia los tejidos. Para *Homarus vulgaris* Thomas (1954), reportó un comportamiento metabólico dependiente de la

concentración de oxígeno en el rango de temperaturas de 6 a 18 °C. Siendo mayor la dependencia conforme aumenta la temperatura. Esto se representa con un incremento en la pendiente de las rectas que describen el metabolismo (Figuras 10 y 11). Esta carencia de control respiratorio se puede deber a la adaptación de los organismos al medio natural, lo que nos lleva a pensar que tanto *Panulirus interruptus* como *Homarus vulgaris* viven en ambientes donde las variaciones de oxígeno son mínimas y por lo tanto un control respiratorio resulta innecesario.

5.- CONCLUSIONES

- Al someter a *Panulirus interruptus* a cambios de temperatura en el rango de 17 a 5 °C se encontró un efecto directo sobre su metabolismo.
- El cambio metabólico de *Panulirus interruptus* al variar la temperatura de 17 a 5 °C se dividió en tres zonas, una de subcompensación (11-17 °C), otra de sobrecompensación (9 y 10 °C) y una última de compensación (5-13 °C).
- Es factible pensar que *Panulirus interruptus* tiende a compensar los efectos producidos por los cambios de Temperatura, conforme aumenta el tiempo de permanencia a esa temperatura.
- Se considera que *Panulirus interruptus* presentó una temperatura óptima que se encuentra alrededor de los 11 y 13 °C.
- Al ser expuesta al aire *Panulirus interruptus* adquirió una deuda de oxígeno, que se incrementó conforme aumentó la temperatura de exposición.
- El tiempo que tardó *Panulirus interruptus* en pagar la deuda de oxígeno presentó una relación directa con la temperatura a la que fue expuesta.
- Los niveles de amonio molecular en *Panulirus interruptus* se incrementaron durante la exposición aérea, aumentando con la temperatura y el tiempo de exposición.
- La difusión de amonio molecular de *Panulirus interruptus* hacia el agua se dio por difusión pasiva, por lo que el regreso a los niveles normales estuvo en función de la temperatura de exposición aérea y del tiempo posterior a la reinmersión.
- Se consideran condiciones extremas las exposiciones aéreas de *Panulirus interruptus* por más de 48 horas a 5 y 18 °C.
- Durante la exposición aérea *Panulirus interruptus* fue incapaz de extraer suficiente oxígeno del medio, por lo que su metabolismo aeróbico disminuyó.
- *Panulirus interruptus* no evidenció un control respiratorio cuando la cantidad de oxígeno ambiental vario, presentando una dependencia metabólica directa de la cantidad de oxígeno.

- La actividad metabólica total de *Panulirus interruptus* fuera del agua no se puede representar únicamente con el consumo de oxígeno.

6.- LITERATURA CITADA

- Alvarez, G. S. y Días, R. X., 1971.
Aspectos fisioecológicos de algunos invertebrados marinos de interés comercial para Cuba. FAO, Fish. Rep. (71,2):279-284.
- Austin, B. Williams., 1988.
Lobsters of the world -an illustrated guide. Lobsters of the world in U.S. trade. Osprey Books, Huntington, New York and Scandinavian fishing year book, Hedehusene, Denmark.
- Bridges, C. R. y Brand, A. R., 1980.
The effect of hypoxia on oxygen consumption and blood lactate levels of some marine crustacea. Comp. Biochem. Physiol., Vol. 65A:399-409.
- Briones-Fourzán P., 1995.
Biología y Pesca de las Langostas en México. En Temas de Oceanografía Biológica en México II. González Farias, F. y de la Rosa Velez J. (eds).
 Universidad Autónoma de Baja California.
- Burnett, L. E., 1988.
Physiological responses to air exposure: acid-base balance and the role of branchial water stores. Am. Zool., 28:125-135.
- DeFur, P. L. y McMahon, B. R., 1984.
Physiological compensation to short-term air exposure in red rock crabs, *Cancer productus* (Randall), From litoral and sublitoral habitats. I. Oxygen uptake and Transport. Physiol. Zool. 57(1):137-150.
- DeFur, Peter L., 1988.
Systemic respiratory adaptations to air exposure in intertidal decapod crustaceans. Amer. Zool., 28:115-124.
- Depledge, M. H., 1984.
The influence of aerial exposure on gas exchange and cardiac activity in the shore crab, *Carcinus maenas* (L.). Comp. Biochem. Physiol. Vol. 79A, No. 3:339-344.
- Gracia, A. y C. B. Kensler., 1980.
Las langostas de México: su biología y pesquería. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México, 7(2):111-128.

- Hagerman, L. y Vismann, B., 1995.
Anaerobic metabolism in the shrimp *Crangon crangon* exposed to hypoxia, anoxia and hydrogen sulfide. Marine Biology, 123:235-240
- Hainsworth, F. Reed., 1981.
Animal Physiology, Adaptations in Function. Addison-Wesley Publishing Company. E.U.A.
- Hoar, S. William. 1978.
Fisiología General y Comparada. Ediciones Omega, S.A., España.
- Kaleemur, R. Md. y B. Srikirishnadas., 1994.
Packing of live lobsters - The indian experience. INFOFISH International 6/94.
- Mancilla-Peraza, M., Palacios-Hernández, E. y Castillo-López, G., 1993.
Variabilidad hidrográfica de Bahía Vizcaino, Baja California, México. Ciencias Marinas, 19(3):265-284.
- McLeese, D. W., 1965.
Survival of Lobster, *Homarus americanus*, out of water. Fish. Res. Bd. Canada, 22(2): 385-394.
- Mota-Alvez, M.I. y Correia Mota, R. Valeria., 1980.
Algumas Consideracoes sobre os índices metabólicos da langosta *Panulirus argus* (Latreille). Bolm Inst. Oceanogr., S. Paulo, 29(2): 251-254.
- O'Mahoney, M. Patricia y Full, J. Robert., 1984.
Respiration of crabs in air and water. Comp. Biochem. Physiol. Vol. 79a, No. 2, pp. 275-282.
- Prosser Ladd, C., 1950.
Comparative Animal Physiology. W. B. Saunders Company, Philadelphia, USA.
- Riley P.J., 1989.
Los gases disueltos en el agua de mar. En Introducción a la Química Marina. Riley P. J. y R. Chester (eds). AGT editor, S.A. México D.F.
- Schimdt-Nielsen Knut., 1979.
Fisiología Animal, Adaptación y Medio Ambiente. Ediciones Omega, S.A., España.

Secretaría de Pesca., 1993.

Anuario Estadístico, Capturas y Desembarques de 1992. Secretaría de Pesca, México D.F.

Spincer, J.I., Hill, A.D., Taylor, A.C., y Strang, R.H.C., 1990.

Effect of aerial exposure on concentrations of selected metabolites in blood of the Norwegian lobster *Nephrops norvegicus* (Crustacea: Nephropsidae). Marine Biology 105: 129-135.

Steel, D. G. Robert y Torrie, H. James., 1988.

Bioestadística: Principios y Procedimientos. McGraw Hill, 2da edición 1era en español, México.

Thomas, H. J., 1954.

The oxygen uptake of the lobster (*Homarus vulgaris* Edw.). J. Exp. Biol. 31:228-251

Truchot, Jean-Paul. 1993.

Crustaceans as experimental animals for metabolic and transport physiology. Aquat. Living Resour., 6:343-349.

Vermeer, K. Gregory., 1987.

Effects of air exposure on desiccation rate, Hemolymph chemistry, and escape behavior of the spiny lobster, *Panulirus argus*. Fishery Bulletin: Vol. 85, No. 1:45-51.

Winkler Paul, 1987.

Effects of handling on the *in situ* oxygen consumption of the American lobster (*Homarus americanus*). Comp. Biochem, Physiol. Vol. 87A, No. 1:69-71.

Young-Lai W. W., Charmantier-Davres M. y Charmantier G., 1991

Effect of ammonia on survival and osmoregulation in different life stages of the lobster *Homarus americanus*. Marine Biology 110:293-300.